

# Radon uudisrakentamisessa

## Otantatutkimus 2009

H. Arvela, I. Mäkeläinen, O. Holmgren, H. Reisbacka



# Radon uudisrakentamisessa

## Otantatutkimus 2009

H. Arvela, I. Mäkeläinen, O. Holmgren, H. Reisbacka

Verkkojulkaisu (pdf) korjattu elokuussa 2010 vastaamaan painoversiota.

Tässä raporttisarjassa esitetyt johtopäätökset ovat tekijöiden johtopäätöksiä, eivätkä ne välttämättä edusta Säteilyturvakeskuksen virallista kantaa.

ISBN 978-952-478-531-0 (nid.)

ISBN 978-952-478-532-7 (pdf)

ISSN 0781-1705

Taitto: Taittopalvelu Yliveto Oy

Edita Prima Oy, Helsinki 2010

Myynti:

STUK – Säteilyturvakeskus

PL14, 00881 Helsinki

Puh. (09) 759 881

Faksi (09) 7598 8500

*ARVELA Hannu, MÄKELÄINEN Ilona, HOLMGREN Olli, REISBACKA Heikki. Radon uudisrakentamisessa – Otantatutkimus 2009. STUK-A244. Helsinki 2010, 63 s. + liitteet 31 s.*

**Avainsanat:** radon, sisäilma, asunnot, otantatutkimus, uudisrakentaminen, radontorjunta

## Tiivistelmä

Rakentamismääräykset ja uudisrakentamisen radontorjunnan käytännön ohjeistus uudistuivat Suomessa vuosina 2003–2004. Torjuntatoimien yleistyminen ja toimenpiteiden tehostuminen ovat alentaneet merkittävästi uusien pientalojen radonpitoisuuksia. Tutkimuksessa mitattiin vuonna 2009 radonpitoisuus 1500 satunnaisesti valitussa pientaloasunnossa, jotka saivat rakennusluvan vuonna 2006. Tämä on 7 % kaikista luvan saaneista.

Kaikkien mitattujen vuosina 2006–2008 valmistuneiden pientalojen radonpitoisuuden keskiarvo oli 95 Bq/m<sup>3</sup> ja mediaani 58 Bq/m<sup>3</sup>. Keskiarvo oli 30 % pienempi kuin vuosina 2000–2005 valmistuneissa pientaloissa. Alenema oli korkean radonpitoisuuden maakunnissa 50 % ja muualla maassa 20 %. Matalaperustaisissa maanvaraisen laatan pientaloissa vapaasti tuuletettava radonputkisto sekä sokkelin ja laatan liitoksen tiivistävän bitumikerman asennus alensivat radonpitoisuutta 55 % verrattuna kohteisiin, joissa ei suoritettu torjuntatoimia.

Torjuntatoimia oli tehty valtakunnallisesti 50 %:ssa tutkimuskohteista ja korkean radonpitoisuuden maakunnissa 90 %:ssa. Torjuntatoimien aktiivinen suorittaminen korkean radonpitoisuuden alueilla on pienentänyt radonpitoisuuden alueellisia eroja. Maanvarainen laatta on käytetyin perustustapa ja edellyttää huolellista radontorjuntaa koko maan alueella. Suurimmat puutteet havaittiin maanvastaisten harkkorakenteisten seinien radontorjuntatoimissa. Tuulettuva alapohja ja reunavahvistettu laatta takaavat varmin alhaisen radonpitoisuuden.

*ARVELA Hannu, MÄKELÄINEN Ilona, HOLMGREN Olli, REISBACKA Heikki. Radon i nybyggen – Urvalsundersökning 2009. STUK-A244. Helsingfors 2010, 63 s. + bilagor 31 s.*

**Nyckelord:** radon, inomhusluft, bostäder, kartläggning, nybyggen, radonbekämpning

## Sammandrag

Byggnormerna för radonbekämpning i nybyggen och de praktiska instruktionerna för bekämpningen reviderades år 2003–2004. Till följd av detta har radonbekämpning blivit allmännare och åtgärderna effektivare. Radonhalterna i nya småhus har minskat väsentligt. I denna undersökning har radonhalterna mätts i över 1 500 småhus. Dessa småhus har utvalts slumpmässigt och representerar 7 procent av de småhus som har fått byggtillstånd år 2006.

Den genomsnittliga radonhalten i alla kontrollerade småhus som var byggda åren 2006–2008 var 95 Bq/m<sup>3</sup>, medianen var 58 Bq/m<sup>3</sup>. Medelvärdet var 30 procent lägre än i husen som byggdes år 2000–2005. Minskningen var 50 procent i landskapen med de högsta radonhalterna och 20 procent på annat håll i Finland. I egnahemshus med golvplatta på mark, som var utrustade med passivt radonrörsystem och tätade med bitumenfilt i fogen mellan sockeln och golvplattan, var radonhalterna 55 procent lägre jämfört med hus där ingen radonbekämpning hade gjorts.

Radonbekämpning hade utförts i 50 procent av egnahemshusen och i landskapen med de högsta radonhalterna i 90 procent av husen. Radonbekämpningsåtgärderna har minskat skillnaderna mellan olika områden i landet. Golvplatta på mark är den dominerande grundläggningen och förutsätter omsorgsfulla radonbekämpningsåtgärder i nybyggen i hela landet. De mest allvarliga defekterna observerades i sluttningshus och i hus med källare med lättbetongväggar tätade mot marken. I hus på kryppgrund eller i hus med en kantförstyvad golvplatta var radonhalterna lägst.

*ARVELA Hannu, MÄKELÄINEN Ilona, HOLMGREN Olli, REISBACKA Heikki. Radon prevention in new construction – Sample survey 2009. STUK-A244. Helsinki 2010, 63 pp + appendices 31 pp.*

**Keywords:** radon, indoor air, dwellings, sample survey, new construction, radon prevention

## Abstract

The building code for radon prevention and the associated practical guidelines were revised in Finland in 2003 to 2004. Thereafter, preventive measures have become more common and prevention practices more effective. Consequently, indoor radon concentrations in new construction have been markedly reduced. In this study, the indoor radon concentration was measured in 1 500 new low-rise residential houses. The houses were randomly selected and represented 7 % of houses that received building permission in 2006.

The average radon concentration of all houses measured, which were completed in 2006 to 2008, was 95 Bq/m<sup>3</sup>, the median being 58 Bq/m<sup>3</sup>. The average was 30 % lower than in houses completed in 2000 to 2005. The decrease was 50 % in provinces with the highest indoor radon concentration and 20 % elsewhere in the country. In houses with a slab-on-ground foundation that had both passive radon piping and sealing measures carried out using a strip of bitumen felt in the joint between the foundation wall and floor slab, the radon concentration was on average reduced by 55 % compared to houses with no preventive measures.

Preventive measures were taken in 50 % of single family houses, and in provinces with the highest radon concentration in 90 % of houses. Active prevention in areas with high indoor radon concentrations has reduced the regional differences in the radon concentration. Slab on ground is the prevailing type of foundation and necessitates careful radon prevention measures throughout the country. The most serious defects were observed in prevention practices in houses with walls made of lightweight concrete blocks that were in contact with soil. The foundation types with the lowest radon concentrations were those with a crawl space and a monolithic slab.

*ARVELA Hannu, MÄKELÄINEN Ilona, HOLMGREN Olli, REISBACKA Heikki. Radon uudisrakentamisessa – Otantatutkimus 2009. STUK-A244. Helsinki 2010, 63 s. + liitteet 31 s.*

**Avainsanat:** radon, sisäilma, asunnot, otantatutkimus, uudisrakentaminen, radontorjunta

## Laajennettu tiivistelmä

Rakentamismääräykset ja uudisrakentamisen radontorjunnan käytännön ohjeistus uudistuivat Suomessa vuosina 2003–2004. Rakentamismääräysten perusteella radon on huomioitava kaikessa uudisrakentamisessa. Rakennukset tulee suunnitella ja rakentaa siten, että sisäilman radonpitoisuus olisi alle 200 Bq/m<sup>3</sup>. Tämän otantatutkimuksen perusteella torjuntatoimet ovat yleistyneet ja tehostuneet. Tämän seurauksena uusien pientalojen radonpitoisuudet ovat alentuneet merkittävästi.

Tutkimuksessa mitattiin sisäilman radonpitoisuus 1500:ssa vuonna 2006 rakennuslupan saaneissa pientaloasunnossa. Mitatut asunnot edustavat 7 % kaikista 22 700 pientaloasunnosta, joille myönnettiin rakennuslupa vuonna 2006. Tämän tutkimuksen perusjoukoksi valittiin näistä ne asunnot, jotka olivat vakinaisessa asuinkäytössä marraskuussa 2008. Näitä oli 18 894 eli 83 % luvan saaneista. Näistä poimittiin tätä tutkimusta varten 3000 asuntoa, joiden asukkailla postitettiin kutsu osallistua tutkimukseen. Lopullinen osallistumisaktiivisuus oli 52 %. Mittauksiin liittyvillä kyselylomakkeilla kerättiin tietoa pientalojen perustustavoista ja uudisrakentamisen yhteydessä tehdyistä radontorjuntatoimista. Kaksi kuukautta kestävät radonmittaukset suoritettiin maaliskuukokouksessa 2009 postitse toimittavalla mittauspurkillä, joka antaa mittausajan radonpitoisuuden keskiarvon.

## Radonpitoisuus

Kaikkien mitattujen vuosina 2006–2008 valmistuneiden pientalojen radonpitoisuuden keskiarvo oli 95 Bq/m<sup>3</sup> ja mediaani 58 Bq/m<sup>3</sup>. Keskiarvo oli 30 % pienempi kuin vuosina 2000–2005 valmistuneissa pientaloissa. Alenema oli korkean radonpitoisuuden maakunnissa 50 % ja muualla maassa 20 %. Alenema vuosina 1980–1999 valmistuneisiin pientaloihin verrattuna oli yli 40 %. Enimmäisarvon 200 Bq/m<sup>3</sup> ylitykset ovat myös merkittävästi vähentyneet verrattuna aikaisempaa pientalokantaan, 16 %:sta 11 %:iin. Vertailu perustuu



vuoden 2006 otantatutkimukseen, jossa mitattiin 2267 satunnaisen väestöotannan antamaa pientaloa. Asuntojen maantieteellinen jakauma on molemmissa tutkimuksissa lähellä toisiaan.

Radonpitoisuudet ovat ylivoimaisesti alimpia omakotitaloissa, joissa oli reunavahvistettu laatta tai tuulettuva alapohja. Molemmissa luokissa radonpitoisuuden keskiarvo oli alle  $45 \text{ Bq/m}^3$  ja mediaani alle  $30 \text{ Bq/m}^3$ . Matalaperustaisissa maanvaraisen laatan omakotitaloissa keskiarvo oli  $96 \text{ Bq/m}^3$  ja mediaani  $68 \text{ Bq/m}^3$ . Rinne- ja kellaritaloissa radonpitoisuuden keskiarvo ja mediaani olivat  $151 \text{ Bq/m}^3$  ja  $100 \text{ Bq/m}^3$ , yli 50 % korkeampia kuin maanvaraisen laatan taloissa. Pääsyy näihin kohonneisiin arvoihin on maanvastaisten harkkorakenteisten seinien radontorjunnan puutteellisuus. Rinnetalojen maanvastaisten rakenteiden radonvuodot näkyvät voimakkaasti myös enimmäisarvon  $200 \text{ Bq/m}^3$  ylityksissä. Niitä oli rinnetaloissa 22 % kun matalaperustaisissa maanvaraisen laatan pientaloissa ylityksiä oli 11 %.

## Radontorjunnan vaikuttavuus

Maanvarainen laatta on yleisin Suomessa käytetty pientalon perustustapa. Tämän tutkimuksen perusteella sen yleisyys on 80 %. Tähän lukuun sisältyy 65 % matalaperustaisia taloja ja 15 % rinne- ja kellaritaloja. Maanvarainen laatta edistää maaperän radonpitoisen ilman virtauksia sisätiloihin. Uudisrakentamisen radontorjunnasta annetussa ohjeistuksessa keskitytäänkin maanvaraisen laatan radontorjuntatoimien suorittamiseen. Keskeisiä toimia ovat radonputkiston asentaminen lattialaatan alle sekä laatan ja sokkelin liitoksen tiivistäminen bitumikermillä. Vapaasti tuulettuvassa radonputkistossa poistohormin pää on avoimena katolla. Lämpötilaero ja tuuli aiheuttavat ilmavirtauksen, joka alentaa huokosilman radonpitoisuutta laatan alla olevassa sorassa. Poistohormiin voidaan kytkeä poistopuhallin, mikäli radonpitoisuus ei ole riittävän alhainen. Puhallin laskee radonpitoisuutta tehokkaasti.

Torjuntatoimien tehokkuutta tutkittiin vertaamalla torjuntatöitä suorittaneiden pientalojen tuloksia kohteisiin, joissa ei tehty torjuntatoimia. Tutkimuksessa hyödynnettiin Säteilyturvakeskuksen mittaustietokannan yli 87 000 pientalon mittaustuloksia vertailuarvoina. Matalaperustaisissa maanvaraisen laatan omakotitaloissa uudisrakentamisen radontorjuntatoimia oli suoritettu kuudessa korkeimman radonpitoisuuden maakunnassa 92 %:ssa kohteista ja muualla maassa 38 %:ssa, keskimäärin 54 %:ssa tutkituista kohteista. Valtakunnallisesti vuosien 2003–2004 säännösuudistukset ja kuntien uudistuneet vaatimukset ovat kaksinkertaistaneet torjuntatoimien suorittamiskiivisuuden.

Maanvaraiselle laatalle rakennetuissa matalaperustaisissa omakotitaloissa vapaasti tuulettuvan radonputkiston ja bitumikermien asennus alensivat radonpitoisuutta keskimäärin 55 %. Pelkän vapaasti tuulettuvan putkiston asentaminen alensi radonpitoisuutta keskimäärin 40 %. Torjuntatoimien vaikutus näkyy selkeästi myös enimmäisarvon 200 Bq/m<sup>3</sup> ylityksissä. Torjuntaa suorittaneissa kohteissa esiintyi enimmäisarvon 200 Bq/m<sup>3</sup> ylityksiä vain 8 %, kun samojen kohteiden paikkakuntaakohtaisissa vertailuarvoissa ylitysosuus oli keskimäärin 29 %. Vertailuarvoina käytettiin kyseisen postinumeroalueen radonmittausten tuloksia Säteilyturvakeskuksen radonmittaustietokannasta. Enimmäisarvon ylityksiä oli eniten rinne- ja kellaritaloissa. Ylitykset johtuvat maanvastaisten harkkorakenteisten seinien radontorjuntatoimien puutteista.

Torjuntatoimien vaikuttavuudesta saaduissa tuloksissa on vertailumenetelmään ja kyselytietojen puutteellisuuteen liittyvää epätarkkuutta. On mahdollista, että torjunta-aktiivisuus oli alhaisempi niiden joukossa, jotka eivät osallistuneet tutkimukseen. Tämä voi alentaa todellista valtakunnallista tilannearviota. Torjunnan vaikuttavuuden tulokset paranisivat todennäköisesti edelleen, jos asukkaan tietojen puutteellisuudesta johtuvat virheet korjattaisiin. Huomionarvoista on myös, että torjuntatoimissa on usein puutteellisuutta. Esimerkiksi rakennuspohjan läpivientien tiivistäminen ei ollut kovin yleistä. Suurimmat puutteet havaittiin maanvastaisten harkkorakenteisten seinien radontorjuntatoimissa. Rakennusyritysten kokemuksen kasvaessa on odotettavissa edelleen paranevia tuloksia.

Tutkimustulokset osoittavat että radontorjuntatyössä on suuria alueellisia eroja. Erot kuvaavat myös kuntien rakennuslupakäsittelyyn liittyviä radontorjuntavaatimuksia. Torjuntatoimia on vaadittu korkeimman radonpitoisuuden alueilla. Tämä näkyy merkittävänä radonpitoisuuden alenemisena. Niillä alueilla joilla torjuntatoimia ei ole suoritettu radonpitoisuudet ovat ennallaan tai jopa kasvussa. Uudisrakentamisen radontorjuntatoimet ovat hinnaltaan edullisia ja niillä on myös kosteusteknisesti edullisia vaikutuksia. Ne vähentävät myös mahdollisten muiden haitallisten aineiden pääsyä maaperästä sisätiloihin. Jo vapaasti tuulettuvan radonputkiston vaikutukset ovat niin merkittäviä, että putkiston asentaminen on suositeltavaa koko maassa. Rakennuttajan kannattaa vaatia suunnittelijalta ja kaikilta hankkeeseen osallistuvilta radontorjunnan toteutusta voimassa olevan ohjeistuksen mukaisesti.

Tässä raportissa esitetyt tulokset antavat vahvan näytön siitä, että uudisrakentamisen ohjeistuksen mukaiset toimet ovat alentaneet vuonna 2006 rakennusluvan saaneiden pientalojen radonpitoisuuksia kymmeniä prosentteja verrattuna aikaisempaa pientalokantaan. Radontorjuntatoimien vaatiminen rakennuslupakäytännön yhteydessä sekä toimenpiteiden laajamittainen ja huolellinen toteuttaminen koko maassa voi vähentää radonpitoisuuksia yli

50 % verrattuna nykyisen pientalokannan tilanteeseen. Tällä on merkittävä suomalaisten radonaltistusta ja radonin terveyshaittoja pienentävä vaikutus tulevinä vuosikymmeninä.

*ARVELA Hannu, MÄKELÄINEN Ilona, HOLMGREN Olli, REISBACKA Heikki. Radon i nybyggen – Urvalsundersökning 2009. STUK-A244. Helsingfors 2010, 63 s. + bilagor 31 s.*

**Nyckelord:** radon, inomhusluft, bostäder, kartläggning, nybyggen, radonbekämpning

## Utvidgat sammandrag

Byggnormer för radonbekämpning i nybyggen och de praktiska instruktionerna för bekämpningen reviderades år 2003–2004. Till följd av detta har radonbekämpning blivit allmännare och åtgärderna effektivare. Radonhalterna i nya småhus har också minskat väsentligt. Byggnormerna för grundläggning kräver att radon måste beaktas i allt byggande. Byggnader bör planeras och byggas så att radonhalten understiger 200 Bq/m<sup>3</sup>.

I denna undersökning har radonhalterna mätts i över 1 500 småhus. Dessa småhus har utvalts slumpmässigt och representerar 7 procent av de 22 716 småhus som fick byggtillstånd år 2006. De utvalda husen var i bostadsbruk i november 2008. Totalt 3 000 småhus utvaldes för undersökningen. En undersökningsinbjudan postades till invånarna. Den slutliga deltagaraktiviteten var 52 procent. Radonmätningarna pågick i två månader under perioden mars–maj 2009. Radondetektorer ger den genomsnittliga radonhalten för uppmättingsperioden. Två frågeblanketter användes för att få information om grundläggning, husens andra egenskaper och om radonbekämpningsåtgärder i nybyggen.

### Radonhalter

Den genomsnittliga radonhalten i alla kontrollerade småhus som var byggda åren 2006–2008 var 95 Bq/m<sup>3</sup>, medianen var 58 Bq/m<sup>3</sup>. Medelvärdet var 30 procent lägre än i husen som byggdes år 2000–2005. Minskningen var 50 procent i landskapen med de högsta radonhalterna och 20 procent på annat håll i Finland. Minskningen jämfört med småhus som byggdes år 1980–1999 var över 40 procent. Andelen småhus som överskred 200 Bq/m<sup>3</sup> var också avsevärt lägre (11 %) än genomsnittet för småhusen (16 %). Dessa jämförelser är baserade på en tidigare landsomfattande urvalsundersökning som utfördes år 2006. I den undersökningen kontrollerades 2 267 småhus som var slumpmässigt utvalda ur befolkningsregistret. Den geografiska fördelningen av bostäderna var mycket likartad i de båda undersökningarna.

Radonhalterna var klart lägst i hus med kryppgrund eller med en kantförstyvad golvplatta. I båda klasserna var medelvärdet för radonhalten lägre än  $45 \text{ Bq/m}^3$  och medianen lägre än  $30 \text{ Bq/m}^3$ . I hus med golvplatta på mark var medelvärdet  $96 \text{ Bq/m}^3$  och medianen  $68 \text{ Bq/m}^3$ . I sluttningshus och hus med källare var medelvärdet  $151 \text{ Bq/m}^3$  och medianen  $100 \text{ Bq/m}^3$ , dvs. över 50 procent högre än i hus med golvplatta på mark. Den viktigaste orsaken till de höga värdena är bristfälliga tätningsarbeten av lättbetongväggarna mot marken. Läckage av radonhaltig jordluft genom väggarna mot marken ökar också andelen av hus med över  $200 \text{ Bq/m}^3$  till 22 procent. I jämförelse med egna-hemshus med golvplatta på marken är andelen bara 11 procent.

## Effekter av radonbekämpningsåtgärder i nybyggen

Golvplatta på mark är den dominerande grundläggningen i finländska småhus. Andelen för denna grundläggning är på basis av denna undersökning 80 procent. Den viktigaste egenskapen med hänsyn till radon är springan mellan sockeln och golvplattan. Denna springa ökar läckaget av radonhaltig jordluft till bostadsrummen. Andelen 80 procent innehåller 15 procent hus med väggar mot marken, i sluttningshus eller hus med källare. I dessa hus finns det också en likadan läckande springa. Handboken för radonbekämpning koncentrerar sig på praktiska åtgärder som behövs i hus med golvplatta på marken.

De centrala åtgärderna är installering av radonrörsystem under golvplattan och tätning av fogen mellan sockel och golvplatta med bitumenfilt. I ett passivt radonrörsystem är utloppskanalen öppen på taket. Temperaturskillnader och vinden ger upphov till luftströmning i rörsystemet, vilket minskar radonhalten i jordluften under golvplattan. Om det behövs kan en fläkt kopplas till utloppskanalen. Fläkten minskar radonhalten inomhus effektivt.

Effekterna av radonbekämpningsåtgärderna studerades genom jämförelse av radonhalterna i hus där radonbekämpningsåtgärder hade utförts med hus där inga radonbekämpningsåtgärder hade utförts. I denna jämförelse utnyttjades också referensvärden som var beräknade med stöd av Strålsäkerhetscentralens radondatabas med information om mer än 87 000 småhus.

Radonbekämpningsåtgärder i nybyggen hade utförts i 54 procent av egna-hemshusen med golvplatta på mark. Andelen var 92 procent i de sex landskapen med de högsta radonhalterna och 38 procent på annat håll i landet. Landsomfattande nya bestämmelser från 2003–2004 har fördubblat bekämpningsaktiviteten.

I småhus med golvplatta på mark utrustade med radonrörsystem och tätning med bitumenfilt var radonhalterna 55 procent lägre än i hus utan radonbekämpningsåtgärder. Den genomsnittliga minskningen för hus med radonrör

men utan tätningsarbeten var 40 procent. Effekterna av bekämpningen kan klart observeras också i den andel hus som hade över 200 Bq/m<sup>3</sup>. För småhus med golvplatta på mark och åtgärder var andelen 8 procent. Utnyttjande av lokala referensvärden ger andelen 29 procent. Höga radonhalter var vanligast i hus med väggar mot marken. Läckage av radonhaltig jordluft genom lättbetongväggar var den viktigaste faktorn som ökar radonhalterna i dessa hus.

Uppskattningarna om effekterna av radonbekämpningsåtgärderna i denna undersökning innehåller inexaktheter som beror på analysmetoden och felaktigheter i frågorna till husägarna. Det är möjligt att bekämpningsaktivitet bland dem som inte deltog i undersökningen är lägre. Detta kan minska det landsomfattande aktivitetsvärdet. Å andra sidan skulle uppskattningarna av effekterna av åtgärder sannolikt bli större om felaktigheterna i frågorna korrigerades. Beaktansvärt är också att genomförandet av åtgärder ofta är bristfälligt. Tätning av genomföringar var inte så vanligt. Tätningen av lättbetongväggar var ofta otillräcklig. Effekterna av åtgärderna kommer att förbättras när erfarenheten hos byggfirmorna ökar.

Resultaten av denna undersökning visar att det finns stora skillnader mellan radonbekämpningen i olika landskap. Åtgärder krävs oftast i områden med de högsta radonhalterna. På grund av dessa krav har radonhalterna också minskat avsevärt. På områden där åtgärder är ovanliga ligger radonhalterna på samma nivå som tidigare eller högre. Radonbekämpningsåtgärder i nybyggen är billiga och har också fukttekniskt fördelaktiga effekter. Effekterna av radonrörssystemen är så betydande att de borde installeras i hela landet i alla hus med golvplatta på marken. Byggherrarna borde kräva att konstruktörerna och alla som tar del i byggprojektet ska vidta radonbekämpningsåtgärder enligt den gällande handboken.

Resultaten i den här rapporten visar kraftiga effekter av radonbekämpningsåtgärder. Åtgärder enligt den byggtekniska handboken har minskat radonhalterna i hus som fått byggtillstånd år 2006 med tiotals procent jämfört med hus som byggdes tidigare. Krav på radonbekämpningsåtgärder i samband av bygglovbehandling och omfattande och professionellt utförda radonbekämpningsåtgärder i hela landet kan leda till en genomsnittlig minskning på 50 procent av radonhalterna jämfört med läget utan åtgärder. Detta skulle väsentligt minska exponeringen för radon inomhus och de skadliga hälsoeffekterna av radon under de kommande årtiondena.

ARVELA Hannu, MÄKELÄINEN Ilona, HOLMGREN Olli, REISBACKA Heikki. *Radon prevention in new construction – Sample survey 2009. STUK-A244. Helsinki 2010, 63 pp + appendices 31 pp.*

**Keywords:** radon, indoor air, dwellings, sample survey, new construction, radon prevention

## Extended abstract

The building code for radon prevention and the associated practical guidelines were revised in Finland in 2003 to 2004. Thereafter, preventive measures have become more common and prevention practices more effective. Consequently, based on the results of this sample survey, indoor radon concentrations in new construction have been markedly reduced. The building code for foundation structures requires that radon should be taken into account in all construction work in Finland. Houses should be designed and constructed so that the indoor radon concentration is kept below 200 Bq/m<sup>3</sup>.

In this study, the indoor radon concentration was measured in 1 500 new low-rise residential houses. The houses were randomly selected and represented 7% of the 22 716 houses that received building permission in 2006. The selected houses were occupied by November 2008. Altogether, 3 000 dwellings were selected for this study, with an invitation to participate in the study being sent to the house owners. The final participation rate was 52%. Radon measurements lasted for two months from March to May 2009. The alpha track detector used gives the average radon concentration for the measurement period. Questionnaires were used to gather information on the foundation type and other house characteristics, as well as the preventive measures taken in the new construction.

### Radon concentration

The average radon concentration of all houses measured, which were completed in 2006 to 2008, was 95 Bq/m<sup>3</sup>, the median being 58 Bq/m<sup>3</sup>. The average was 30 % lower than in houses completed in 2000 to 2005. The decrease was 50 % in those provinces with the highest indoor radon concentrations and 20 % elsewhere in the country. The decrease compared to houses completed in 1980 to 1999 was more than 40 %. The percentage of houses exceeding the reference level of 200 Bq/m<sup>3</sup> had also markedly decreased, from 16 % to 11 %. The above

comparisons are based on the previous national survey carried out in 2006, in which indoor radon concentrations were measured in 2 267 houses randomly selected by the Population Register Centre of Finland. The geographical distributions of houses in these two surveys are quite similar.

Radon concentrations were by far the lowest in houses with a monolithic slab and those with a crawl space. In both of these classes, the average radon concentration was below 45 Bq/m<sup>3</sup> and the median below 30 Bq/m<sup>3</sup>. In houses with a slab-on-ground foundation the average was 96 Bq/m<sup>3</sup> and the median 68 Bq/m<sup>3</sup>. In hillside and basement houses with walls in contact with soil, the average and the median were 151 Bq/m<sup>3</sup> and 100 Bq/m<sup>3</sup>, more than 50 % higher than in houses with a slab-on-ground construction. The main reason for these elevated values was the defective measures for radon prevention in the block walls in contact with soil. Leakages of radon-bearing soil air through walls in contact with soil also can be seen in the percentage of houses exceeding the reference level of 200 Bq/m<sup>3</sup>. This figure was 22 %, as compared to 11 % for single family houses with slab-on-ground.

## **Impact of radon-resistant new construction**

Slab on ground is by far the most prevalent type of foundation for newly-constructed low-rise residential houses in Finland, accounting for 80% of houses on the basis of this study. The key feature of this foundation type regarding radon prevention is the gap between the floor slab and foundation wall. This gap promotes the flow of radon bearing soil air into living spaces. The above figure of 80 % includes 15 percentage points of hillside houses and basement houses, which in fact have a similar joint between the floor and foundation wall at ground level to that in slab-on-ground houses. The guidance for radon-resistant new construction focuses on practices needed in houses with slab on grade and walls in contact with soil. The essential preventive measures are the installation of preparatory radon piping below the floor slab and sealing of the joint between the floor slab and the foundation wall using a strip of bitumen felt. In a passive radon piping system, the discharge is open above roof. The temperature difference and wind create an air flow, which reduces the radon concentration in the pore air of the sub-slab gravel. When needed, one can install a radon fan in the discharge of the piping, which when active effectively reduces the indoor radon concentration.

The impact of preventive measures was assessed through a comparison of indoor radon concentrations in houses with prevention compared to those where no preventive measures had been taken. In this comparison, local reference values from the indoor radon database, including 87 000 houses through-



hout Finland, were also utilized. Preventive measures had been carried out in 54 % of single family houses with slab on grade. The percentage was 92 % in the six provinces with the highest indoor radon concentration and 38 % elsewhere in the country. Nationwide, the new regulations issued in 2003 to 2004 have doubled the level of prevention activity.

In single family houses with slab-on-grade foundations, passive radon piping and the installation of a strip of bitumen felt reduced the indoor radon concentration by 55 %. The average reduction for radon piping with no sealing measures was 40 %. The effect of prevention can also be clearly seen in the percentage of houses exceeding the reference level. In houses that had taken preventive measures the percentage exceeding this level was 8 %. In relation to the local reference values, this percentage was 29 %. The reference values used were radon concentrations of the postal code areas from the Finnish indoor radon data base. Higher percentages exceeding the reference level were most common in hillside and basement houses, in which radon entry through block walls in contact with soil is the main factor causing the elevated radon concentrations.

Estimates of the impact of preventive measures are subject to uncertainty due to the comparison method and inaccuracies in the questionnaire data. A lower level of prevention activity among those who did not participate in the study may reduce the nationwide estimate. On the other hand, estimates of the impact would probably increase if the defects in the questionnaire data were corrected. It is also noteworthy that the implementation of the preventive measures is often inadequate. Sealing of pipe penetrations in the floor slab was found to be relatively uncommon, and the sealing measures for block walls in contact with soil were generally defective. However, the impact of the preventive measures will increase as the experience of construction companies develops.

According to the results of this study, there is high variation in the prevention activity in different areas of the country. Local authorities require prevention measures commonly in those areas with the highest radon concentrations, which has also resulted in a considerable decrease in indoor radon concentrations. On the other hand, in those areas where no prevention has been taken, indoor radon concentrations have remained as before or have even increased. Radon-resistant new construction practices represent economic investments that also have moisture-related advantageous effects. Prevention measures may decrease also the entry of other harmful substances from soil into living spaces. The effect of passive radon piping is so significant that installation of the piping is recommended throughout the country. Builders should require archi-

tects and all participants in building projects to implement radon prevention measures according to the current guidelines.

The results of this study provide evidence of a strong impact of radon prevention measures. The practices detailed in the prevention guidelines have reduced the indoor radon concentration in houses receiving building permission in 2006 by dozens of percent in comparison with houses built earlier. The requirement for radon prevention in connection with the application for building permission and the widespread and skilled implementation of preventive measures throughout the country could result in an average 50 % reduction in indoor radon concentrations compared to the present housing stock with no prevention. This would considerably reduce exposure to radon and the harmful health effects of indoor radon in the coming decades.

# Sisällys

TIIVISTELMÄ	3
SAMMANDRAG	4
ABSTRACT	5
LAAJENNETTU TIIVISTELMÄ	6
UTVIDGAT SAMMANDRAG	10
EXTENDED ABSTRACT	13
1 JOHDANTO	19
2 RADON UUDISRAKENTAMISESSA, MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	21
3 MITEN RADON TULEE ASUNTOON?	22
4 UUDISRAKENTAMISEN RADONTORJUNNAN OHJEISTUS	25
5 AINEISTO JA MENETELMÄT	27
5.1 Tietojen poimintaperusteet	27
5.2 Mittausmenetelmä	27
5.3 Tutkimuksen toteutus	28
5.4 Aineiston luokittelu	28
6 TULOKSET	29
6.1 Pientalojen rakennusluvut 2006	29
6.2 Osallistuminen tutkimukseen	31
6.3 Pientalojen ominaisuuksista	33
6.4 Radonpitoisuus	35
6.5 Perustustavan vaikutus	39
6.6 Torjuntatoimien luokittelu	41
6.7 Torjuntatoimien yleisyys	44
6.8 Torjuntatoimien vaikuttavuus	44
6.9 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus	49

7	VERTAILU AIKAISEMPAAN ASUNTOKANTAAN	52
7.1	Radonpitoisuus	52
7.2	Torjuntatoimien suorittaminen	55
8	KOKEELLISIA TUTKIMUKSIA	56
8.1	Passiivisen putkiston kokeelliset tutkimukset	56
8.2	Vuototutkimukset	56
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	59
	KIRJALLISUUSVIITTEET	62
LIITE 1	KUTSUKIRJE TUTKIMUKSEEN VALITTUJEN PIENTALOJEN ASUKKAILLE	65
LIITE 2	RADONMITTAUKSEN KYSELYLOMAKE	66
LIITE 3	RADONTORJUNTAAN LIITTYVÄ LISÄKYSELYLOMAKE	68
LIITE 4	PÄÄLOMAKKEEN TÄYTTÖTIEDOT	70
LIITE 5	RADONTORJUNTAAN LIITTYVÄN LISÄLOMAKKEEN TÄYTTÖTIEDOT	75
LIITE 6	UUDISRAKENTAMISEN RADONTORJUNNAN OHJEISTUS	79
LIITE 7	RADONTORJUNNAN TÄYDENTÄVIÄ OHJEITA	82
LIITE 8	SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA, OSA B3, POHJARAKENTEET, YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2004, OTTEITA RADONIIN LIITTYVISTÄ MÄÄRÄYKSISTÄ	85
LIITE 9	ASUNNON RADONPITOISUUDEN LASKENTA JA MALLINTAMINEN	91
LIITE 10	SUOMEN MAAKUNNAT	94

# 1 Johdanto

Sisäilman radonpitoisuudet ylittävät Suomessa yleisesti radonpitoisuudelle asetetut terveydelliset raja-arvot. Useissa maakunnissa 20–50 % pientaloista ylittää rakennusten suunnittelulle ja toteutukselle annetun enimmäisarvon 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Sisäilman radonille altistuminen lisää keuhkosityövän riskiä asuinympäristössä (Darby ym. 2005, 2006). Suomessa tämä merkitsee lähes 300 radonin aiheuttamaa keuhkosityöpätapausta vuodessa. Radonin aiheuttama keuhkosityöpäriski on todettu kiistatta ensin kaivosmiesten sairastuvuuden perusteella ja 2000-luvulla myös asuinympäristössä toteutetuilla tutkimuksilla.

Radonin haittavaikutusten vähentämiseksi tarvitaan sekä olemassa olevan asuntokannan radonkorjauksia että torjuntatoimia uudisrakentamisessa. Voidaan karkeasti arvioida että puolet asuntokannasta uudistuu seuraavan 50 vuoden kuluessa. Tämän vuoksi uudisrakentaminen vaikuttaa ratkaisevasti tulevan asuntokannan radonpitoisuuteen.

Laajamittaiset radonmittaukset asunnoissa aloitettiin 1980-luvun puolivälissä Lääkintöhallituksen annettua kunnille kehotuksen ryhtyä korkean radonpitoisuuden asuntojen etsintätöihin (Lääkintöhallitus 1986). Samalla käynnistyi myös Ympäristöministeriön rahoittama rakennusalan tutkimustyö, jonka tavoitteena oli löytää Suomeen soveltuvia radonkorjausmenetelmiä ja uudisrakentamisen radontorjuntamenetelmiä. Uudisrakentamisen torjuntatoimia alettiin toteuttaa laajamittaisesti pientalorakentamisessa 1990-luvun puolivälin jälkeen.

Keskeinen pientalojen radonpitoisuuksia kasvattava ongelma Suomessa on maanvarainen laatta, joka on ylivoimaisesti käytetyin perustustapa. Lattialaatan ja perustuksen välinen rako ja tiivistämättömät läpiviennit tarjoavat maaperän radonpitoiselle ilmalle helpon pääsyn rakennuksen sisätiloihin. Uudisrakentamisen radontorjunnan ohjeistus keskittyykin erityisesti tämän perustustavan radonteknisiin ratkaisuihin. Samalla suositellaan radonturvallisten perustustapojen käyttöönottoa. Tällaisia ovat tuulettuva alapohja ja reunavahvistettu laatta.

Radontorjunnasta julkaistiin uusittu ohje vuonna 2003 (Rakennustieto Oy 2003). Vuonna 2004 taas julkaistiin Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa uudet vaatimukset radonin huomioimisesta pohjarakentamisessa koko maassa (Ympäristöministeriö 2004).

Säteilyturvakeskus suoritti vuosina 2006–2007 väestöpohjaisen otanta-tutkimuksen (Mäkeläinen ym. 2009) jonka tulosten perusteella torjuntatoimet pientalorakentamisessa vuoden 1995 jälkeen rakennetuissa taloissa ovat jo yleistyneet varsinkin korkeimman radonpitoisuuden alueilla. Tutkimuksella

ei kuitenkaan pystytty tavoittamaan niitä vuoden 2005 jälkeen valmistuneita pientaloja, joiden radontorjuntatoimiin vuosina 2003 ja 2004 uusitut ohjeet ja määräykset sekä määräysten mukaiset rakennusvalvonnan vaatimukset ovat jo vaikuttaneet.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia täsmällisesti kohdennetulla otannalla kaikkein uusimpien pientalojen radonpitoisuutta. Tutkimuksen erityistavoitteena on selvittää torjuntatoimien yleisyyttä ja niiden vaikutusta asuntokannan radonpitoisuuteen.

## 2 Radon uudisrakentamisessa, määräykset ja ohjeet

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 944/92 mukaan huoneilman radonpitoisuuden ei tulisi ylittää arvoa  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Sen lisäksi uudet asunnot tulee rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylittäisi arvoa  $200 \text{ Bq/m}^3$  (Sosiaali- ja terveysministeriö 1992). Aikaisempi, vuonna 1986 vanhoille asunnoille annettu ohjearvo oli  $800 \text{ Bq/m}^3$  (Lääkintöhallituksen ohjekirje nro 2/1986). Samassa yhteydessä jo vuonna 1986 annettiin uusien asuntojen radonpitoisuuden tavoitearvoksi  $200 \text{ Bq/m}^3$ .

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisema asumisterveysohje on terveydensuojeluviranomaisille annettu ohje asuntojen sisäilman terveyshaittojen ehkäisemiseen tähtäävää valvontatyötä varten (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Asumisterveysopas taas täydentää asumisterveysohjetta runsaalla käytännöllisellä sisäilman laatuun ja mittauksiin liittyvällä tiedolla. Radonin osalta siinä on mm. yleiskuva radonin ohjearvoista, lähteistä, korjaamisesta ja torjunnasta uudisrakentamisen yhteydessä (Sosiaali- ja terveysministeriö 2008).

Suomen rakentamismääräyskokoelman (SRMK) osan D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto (Ympäristöministeriö 2010) sekä Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen perusteella uudet rakennukset tulee suunnitella ja rakentaa siten, että sisäilman radonpitoisuus on alle  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Vuonna 2004 voimaan tulleen SRMK:n osan B3, Pohjarakenteet (Ympäristöministeriö 2004), määräysten mukaan rakennuspaikan radonriskit on otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa (Liite 8). Ohjeen mukaan radontekninen suunnittelu voidaan jättää tekemättä vain, jos paikkakuntaakohtaiset radon-tutkimukset selkeästi osoittavat, että radonpitoisuus asunnoissa alittaa enimmäisarvon säännönmukaisesti. Mikäli radonia ei huomioida suunnittelussa, kirjalliset perustelut tästä on liitettävä rakennuskohteen suunnitelma-asia-kirjoihin.

Useiden kuntien rakennusjärjestyksissä on esitetty vaatimus radontorjuntatoimista uudisrakentamisesta koko kunnan alueella. Tällaisia alueellisia vaatimuksia on kirjattu kuntien rakennusjärjestyksiin jo 1990-luvulla. Aluksi ne saattoivat kohdistua vain tiettyihin alueisiin kunnassa. Näillä alueilla oli mitattu korkeimpia radonpitoisuuksia. Uudistetun pohjarakentamisesta annetun SRMK:n osan B3 voimaantulon jälkeen tehdyillä koko kunnan aluetta koskevilla päätöksillä on selkeytetty tilannetta ja saatettu vaatimukset vastaamaan rakentamisesta ja sisäilman radonpitoisuudesta annettuja määräyksiä.

Uudisrakentamisen radontorjunnan käytännön ohjeistusta on käsitelty luvussa 4 sekä liitteissä 6 ja 7.

### 3 Miten radon tulee asuntoon?

Kaikki maa-aines sisältää tyypillisesti 30 % tyhjää tilaa, jossa olevaa ilmaa kutsutaan huokosilmaksi. Maaperän mineraalien sisältämä uraani ylläpitää huokosilmassa jatkuvasti korkeata radonpitoisuutta, joka on tavallisesti 20 000–100 000 Bq/m<sup>3</sup>. Merkittävin radonlähde pientaloissa on tämä maaperän radonpitoinen huokosilma.

Suomen ilmastossa talon ulkopuolella on normaalisti kylmempää ilmaa kuin sisätiloissa. Näiden ilmamassojen tiheys-ero aiheuttaa sen, että sisätiloissa vallitsee alipaine ulkoilmaan nähden. Koneellinen ilmanvaihto kasvattaa osaltaan alipainetta. Alipaine on suurimmillaan alhaalla perustusten tasolla, jossa se pakottaa maaperän radonpitoisen ilman liikkeelle maaperästä asunnon sisätiloihin. Kun maaperän huokosilman radonpitoisuus on erittäin korkea, riittää pieni virtaus nostamaan sisäilman radonpitoisuuden satoihin becquereleihin kuutiometrissä. Maaperästä radonpitoista huokosilmaa virtaa maanvaraisella tiivistämättömällä laadalla varustettuihin pientaloihin tyypillisesti 0,2–2 m<sup>3</sup> tunnissa (Arvela 1995).

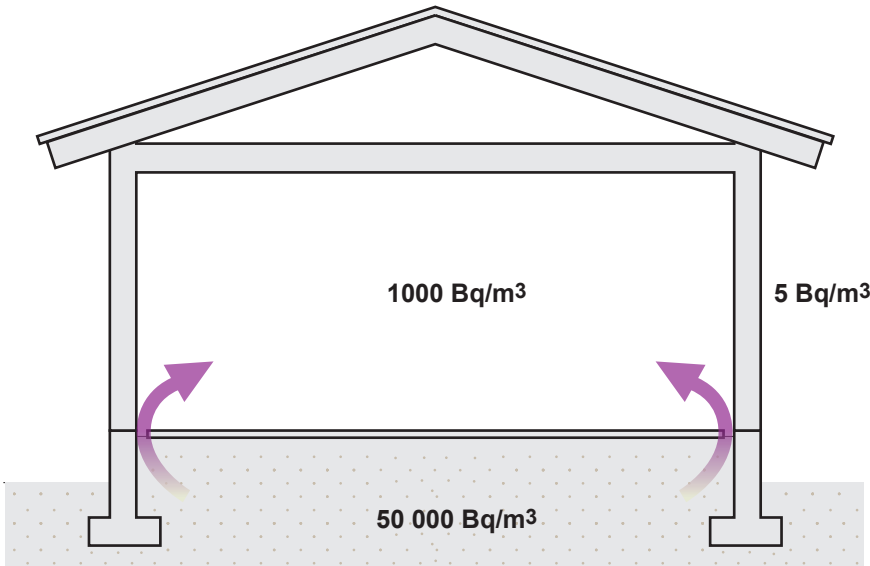
Maaperästä sisätiloihin virtaavan ilman määrään vaikuttaa kaikkein merkittävimmin maaperän ilmanläpäisevyys. Karkeassa sorassa tai kalliomurskeessa ilmanläpäisevyys on yli tuhatkertainen verrattuna tiiviisiin maalajeihin kuten hieta ja savi. Ilmavirtaukseen vaikuttaa myös perustuksessa olevien rakojen suuruus. Lattialaatan ja seinän välissä oleva rako rajoittaa ilmavirtaa vain vähän. Jo yhden millimetrin levyisestä raosta vuoto on merkittävää. Rako syntyy betonilaatan kuivuessa. Myös läpäisevä täyttösorakerros lisää vuotoilman virtausta. Siten tiiviillekin alkuperäismaalle rakennetun talon radonpitoisuus kasvaa kun laatan alle sijoitetaan kosteusteknisistä syistä karkea täyttösora tai sepelikerros. Avainkysymys radontorjunnan onnistumisessa on maaperästä ilmavirtauksen mukana asuntoon kulkeutuvan radonmäärän pienentäminen.

Radonpitoisuuden laskentaa ja mallintamista ja maaperän läpäisevyyden merkitystä on tarkasteltu liitteessä 9 (Arvela ja Reisbacka 2008, 2009).

Kuvat 2 ja 3 esittävät erilaisiin perustamistapoihin liittyviä vuotoreittejä. Merkittävin vuotoreitti on maanvaraisen lattialaatan ja sokkelin välillä oleva kutistumarako. Muita mahdollisia radonin vuotoreittejä ja lähteitä ovat:

- alapohjalaatan ja kantavien väliseinien liitoskohdat
- maanvastaiset harkkoseinät rinne- ja kellaritaloissa
- lattialaatan halkeamat
- kellarin maalattia
- lattialaatan läpivientikohdat, pääsähköjohto ja vesijohto
- takan perustusten ja lattian saumat tai takkarakenteet
- radonpitoinen talousvesi, porakaivot
- kivipohjaiset rakennusmateriaalit



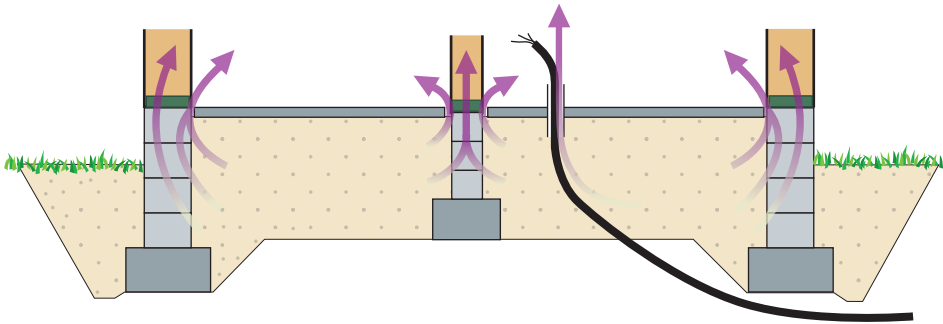


**Kuva 1.** Maaperän huokosilma virtaa perustuksen rakojen kautta sisätiloihin ja kasvattaa sisäilman radonpitoisuutta.

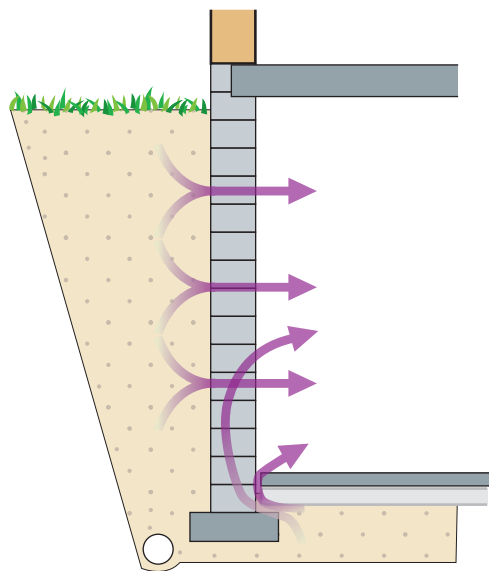
Paitsi pientaloissa, myös niissä kerrostalojen alimpien kerrosten asunnoissa, joissa lattialaatta on maanvarainen, maaperän huokosilmavuodot kasvattavat sisäilman radonpitoisuutta merkittävästi. Näissä asunnoissa radonpitoisuudet ovat keskimäärin yhtä korkeita kuin pientaloissa (Mäkeläinen ym. 2009). Kerrostaloissa alapohjan radonvuotoa kasvattaa asuntojen tiiviydestä ja koneellisesta poistoilmanvaihdesta aiheutuva alipaine. Korkean rakennuksen aiheuttama suuri painovoimainen alipaine voi myös kasvattaa vuotovirtauksia.

Pien- tai kerrostaloasunnoissa, joiden seinät on tehty betonielementeistä, rakennusmateriaaleista erittyvä radon aiheuttaa tyypillisesti sisäilman radonpitoisuuden  $20\text{--}70 \text{ Bq/m}^3$ . Pientalossa, jossa vain lattialaatta on betonista, lattialaatan vaikutus sisäilman pitoisuuteen on alle  $20 \text{ Bq/m}^3$ . Rakennusmateriaalit eivät tietyssä Suomessa ole yksin aiheuttaneet enimmäisarvon  $400 \text{ Bq/m}^3$  ylittäviä sisäilman radonpitoisuuksia.

Jos asunnossa käytetään porakaivovettä, on mahdollista, että veden radonpitoisuus lisää huoneilman radonpitoisuutta. Radonia vapautuu pesu- altaissa, -koneessa ja suihkussa vedestä huoneilmaan. Asuintiloihin vedestä tulevan radonin määrä riippuu veden radonpitoisuudesta, käyttötavoista, vesimääristä, asunnon koosta ja ilmanvaihdesta. Porakaivoasunnoissa on aina syytä mitata sekä sisäilman radonpitoisuus että talousveden radonpitoisuus.



**Kuva 2.** Radonpitoisen ilman vuotoreittejä maanvaraisen laatan perustuksessa.



**Kuva 3.** Radonin vuotoreittejä, kellarillisessa rakennuksessa tai rinnetalon alimmassa kerroksessa.

## 4 Uudisrakentamisen radontorjunnan ohjeistus

Uutta taloa rakennettaessa voidaan merkittävästi vaikuttaa sisäilman radonpitoisuuteen yksinkertaisilla ja hinnaltaan edullisilla toimenpiteillä. Maanvarainen laatta on ylivoimaisesti yleisin perustustapa nykyrakentamisessa. Tämän tutkimuksen perusteella (luku 6.5) maanvarainen laatta on 80 %:ssa uusista pientaloista. Näistä 64 % on matalaperustaisissa taloissa ja 16 % rinne- tai kellaritaloissa. Samalla tämä perustustapa on radontorjunnan kannalta ongelmallisin. Lattialaatan ja perustuksen välinen rako ja tiivistämättömät läpiviennit tarjoavat maaperän radonpitoiselle ilmalle helpon pääsyn rakennuksen sisätiloihin. Uudisrakentamisen radontorjunnan ohjeistus keskittyykin erityisesti tämän perustustavan radonteknisiin ratkaisuihin. Samalla suositellaan radonturvallisten perustustapojen käyttöönottoa. Tällaisia ovat tuulettuva alapohja ja reunavahvistettu laatta.

Keskeisiä toimia maanvaraisen laatan radontorjunnassa ovat sokkelin ja laatan välisen raon tiivistäminen sekä radonputkiston asentaminen laatan alle. Ympäristöministeriö julkaisi ensimmäisen ohjeen torjuntatoimista vuonna 1994 (Ympäristöministeriö 1994). Vuoden 1994 oppaassa tiivistämistyö toteutettiin kuumakumibitumin avulla. Säteilyturvakeskus teki vuonna 1997 tutkimuksen radontorjunnan tilanteesta Suomessa (Ravea ja Arvela 1997). Tutkimus osoitti, että kuumakumibitumin käyttö tiivistystyössä koettiin erittäin vaikeaksi toteuttaa. Sen sijaan ohjeen mukainen radonputkistojen asentaminen oli vuonna 1997 jo alkanut yleistyä korkean radonpitoisuuden kunnissa. Säteilyturvakeskuksen kyselytutkimuksen perusteella jo kolme neljästä korkean radonpitoisuuden kunnasta suositteli radonin huomioimista. Usein vaatimukset kohdistuivat kuitenkin vain kunnan osa-alueisiin (Voutilainen ym. 1998).

Uusia tiivistämisratkaisuita tutkittiin vuosina 2001–2003 TEKESin rahoittamassa Suomen ympäristöterveyden tutkimusohjelmaan (SYTTY) kuuluvassa kehityshankkeessa ”Radonturvallinen perustus, kosteuseristys ja ilmanvaihto terveessä talossa” (Arvela ym. 2002). Hankkeessa kehitettiin uusi bitumikerman käyttöön perustuva tiivistysratkaisu. Radonputkiston asentamiseen liittyvä ohjeistus säilyi lähes ennallaan.

Ohjeistusta uudistettiin vuonna 2003 tutkimustulosten pohjalta. Ohjeet radonturvallisen rakentamisen toteuttamiseen julkaistiin RT-ohjekorttina (Rakennustieto Oy 2003). Kortti korvasi vuonna 1994 julkaistun Ympäristöministeriön oppaan, jonka ohjeita tarkistettiin tutkimushankkeen ja muiden kokemusten pohjalta. Uuden ohjeen ensisijainen tiivistysratkaisu pohjautuu bitumikerman käyttöön. Elastisilla sauma-aineilla tai kuumakumibitumilla tehtävä tiivistys on vaihtoehtoinen menetelmä.

Rakennuspohjaan asennettavalla putkistolla varmistetaan sisäilman radonpitoisuuden hallinta, jos perustusrakenteisiin jää ilmapuotoja. Järjestelmän tarkoituksena on rakennuspohjan alipaineistaminen ja salaojakeroksen huokosilman radonpitoisuuden alentaminen. Radonpitoisuus alenee, koska poistopuhallin aiheuttaa ilmavirtauksen laatan alapuolisiin sora-aineksiin. Tällöin maaperän huokosilman ja sisätiloihin virtaavan ilman radonpitoisuus alenee.

Nykyohjeistuksen mukainen tiivistämisratkaisu ja radonputkiston asentaminen on esitelty lyhyesti liitteessä 6. Säteilyturvakeskuksen internet-sivuilla on täydentäviä ohjeita, jotka perustuvat STUKin tutkimuksiin ja ohjeistuksesta saatuun palautteeseen. Täydentävät ohjeet ovat liitteessä 7.

## 5 Aineisto ja menetelmät

### 5.1 Tietojen poimintaperusteet

Tutkimuksen pohjana on Väestörekisterikeskuksen suorittama satunnaisotanta. Poiminnan perusjoukkona ovat sellaiset omakoti-, sekä rivi- ja paritalo-asunnot, joille on myönnetty rakennuslupa vuonna 2006. Poiminta kohdistettiin vain uudisrakennuksiin ja asuntoihin, joita valintaa suoritettaessa (marraskuu 2008) käytettiin vakituiseen asumiseen.

Edellä määritellyistä huoneistoista poimittiin tasaväliotannalla 3000 huoneistoa, joka on lähes joka kuudes ehdot täyttävä asunto. Tällöin suurista rivitaloyhtiöistä valikoitui useampi kuin yksi huoneisto. Yhteyshenkilöksi poimittiin valitun huoneiston vanhin asukas.

Yhteenveto tärkeimmistä tutkimusta varten luovutetuista tiedoista:

- Yhteyshenkilön nimi- ja osoitetiedot sekä kotikunta, maakunta ja lääni
- Rakennustunnus ja huoneistotunnus
- Rakennuksen käyttötarkoitus ja huoneistojen lukumäärä
- Rakennuksen kokonaisala ja kantavien rakenteiden pääasiallinen materiaali
- Rakennuksen koordinaatit

Lisäksi tutkimuksen käyttöön saatiin otannan perusjoukosta seuraavia tilastotietoja:

- Rakennusten lukumäärä kunnittain ja käyttötarkoituksluokittain
- Rakennuksessa olevien huoneistojen määrä kunnittain ja käyttötarkoituksluokittain

### 5.2 Mittausmenetelmä

Mittaukset tehtiin käyttäen asukkaalle postitse toimitettavia Säteilyturvakeskuksen radonmittauspurkkeja. Säteilyturvakeskuksen Tutkimus ja ympäristönvalvonta-osasto on standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaan FINASin akkreditoima testauslaboratorio T167, ja sen yhtenä pätevyysalueena radonmittaukset sisäilmassa.

Mittausmenetelmää kutsutaan alfajälkimenetelmäksi. Radonmittaus tapahtuu 0,25 mm paksun polykarbonaattimuovin avulla. Muovinpalanen on pienen pyöreän rasian pohjalla, rasian halkaisija 43 mm ja korkeus 17 mm. Radonin ja sen hajoamistuotteiden lähettämät alfahiukkaset jättävät jälkiä muoviin. Muovin sähkökemiallisen käsittelyn jälkeen jäljet ovat silmin nähtäviä. Jälkimäärä lasketaan mikroskoopin ja automaattisen kuva-analyysiohjelmiston

avulla. Asunnossa mittauksen aikana vallinnut keskimääräinen radonpitoisuus on verrannollinen laskettuun jälkimäärään.

### 5.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimukseen poimituille henkilöille lähetettiin helmikuun puolivälissä 2009 kysely halukkuudesta osallistua tutkimukseen (Liite 1). Samalla tarjottiin vastaanottajille ilmaista kaksi kuukautta kestävä radonmittausta. Tutkimukseen halukkaista 95 % postitti myönteisen vastauksen kahden viikon sisällä.

Mittauspurkkien postitus aloitettiin helmikuun 22 päivänä. Myönteisiä vastauksia saapui vielä maaliskuussakin. Viimeiset tutkimukseen hyväksytyt mittauspurkit postitettiin maaliskuun puolivälissä. Radonpurkin yhteydessä vastaanottajalle postitettiin radonmittauksen normaali tiedonkeruulomake (Liite 2) sekä radontorjuntaan keskittyvä lisäkyselylomake (Liite 3). Lisälomake täydentää radonmittauksen perustiedonkeruulomakkeessa jo olevia radontorjuntaan liittyviä kysymyksiä.

### 5.4 Aineiston luokittelu

Asuntoja koskevat tiedot luokiteltiin väestörekisterikeskuksen toimittamien tietojen (Luku 5.1) sekä radonmittarin yhteydessä palautettujen tiedonkeruulomakkeiden (Liitteet 2 ja 3) perusteella. Lomakkeiden täyttötiedot on annettu liitteissä 4 ja 5. Lomakkeiden kysymykset ovat vaativia. Moni tutkimukseen osallistunut pientalon asukas on jättänyt lomakkeen useita osia täyttämättä. Lomakkeen täyttäjiltä ei odotettu tutkimuksessa vastauksia muista kuin täyttäjälle selkeistä kysymyksistä. Lisälomakkeen kaikissa kysymyksissä on myös ”En tiedä”-vaihtoehto.

Pientalojen rakentaminen tapahtuu enenevässä määrin ammattilaisten työnä. Tämän vuoksi asukkaiden tieto esim. perustustavasta tai radontorjuntatoimista voi olla hyvinkin vähäistä. Suomalaiset osallistuvat kuitenkin aktiivisesti omakotitalojen rakentamiseen. Tämän johdosta näiden perustamistavasta ja radontorjunnasta on mahdollista saada tutkimusta hyödyntävää tietoa asukaskyselyn avulla. Rivitalojen osalta asukkaiden tietämys on huomattavasti vähäisempää (Liitteet 4 ja 5).

Radonmittauksen päälomakkeen ja radontorjuntaan liittyvän lisälomakkeen tietojen luotettavuutta arvioitiin ja tietoja täydennettiin puhelinhaastattelujen avulla. Tarkistusten tuloksia on tarkasteltu tulosten tarkastelun yhteydessä luvussa 6.

## 6 Tulokset

### 6.1 Pientalojen rakennusluvut 2006

Vuonna 2006 myönnettiin Suomessa rakennuslupa yhteensä 22 716 pientalo-asunnolle, taulukko 1. Tämän tutkimuksen perusjoukoksi valittiin näistä ne asunnot, jotka olivat vakinaisessa asuinkäytössä marraskuussa 2008. Näitä oli 18 894 eli 83 % luvan saaneista. Poiminnan perusjoukon pientaloasunnoista 11 853 oli omakotitaloja (63 %) sekä 7041 rivi- ja paritaloja (37 %), joista 26 % rivitaloissa ja 11 % paritaloissa. Tämän raportin tilastoissa rivitaloihin on yhdistetty myös 30 rakennuslupaa, jotka on myönnetty ketjutaloille. Ketjutaloissa oli yhteensä 119 huoneistoa. Rakennuslupan saaneissa rivitaloissa on keskimäärin 4,4 huoneistoa (vaihteluväli 3–14).

Tässä tutkimuksessa tuloksia on käsitelty maakunnittain. Tämän lisäksi on tulokset ryhmitelty useasti kahteen alueeseen: Häme- ja Kaakkois-Suomi sekä muu Suomi. Tätä jakoa on käytetty vuoden 2006 otantatutkimuksen tulosten käsittelyssä (Mäkeläinen ym. 2009). Tässä tutkimuksessa Hämeen ja Kaakkois-Suomen alueesta käytetään myös nimeä korkeimman radonpitoisuuden maakunnat. Alueeseen kuuluvat kuusi maakuntaa on merkitty taulukoon 2.

**Taulukko 1.** Rakennusten ja asuntojen lukumäärä eri pientalotyypeissä tämän tutkimuksen otannan perusjoukossa. Perusjoukossa ovat ne 18 894 asuntoa (83 %), joille myönnettiin rakennuslupa vuonna 2006 ja jotka olivat vakinaisessa asuinkäytössä marraskuussa 2008. Rakennuslupa myönnettiin yhteensä 22 716 asunnolle.

Yksikkö	Pientalotyyppi				
	Yhden asunnon talot, omakotitalot	Kahden asunnon talot, paritalot	Rivitalot	Rivitalot ja paritalot yhteensä	Kaikki yhteensä
	osuus, %	osuus, %	osuus, %	osuus, %	osuus, %
Rakennukset	11 821 (84 %)	1081 (8 %)	1105 (8 %)	2186 (16 %)	14 007 (100 %)
Asunnot	11 853 (63 %)	2168 (11 %)	4873 (26 %)	7041 (37 %)	18 894 (100 %)

Taulukossa 2 on myös verrattu rakennuslupien sisältämien asuntojen määrää maakunnan kaikkien asukkaiden pientaloasukkaiden määrään. Vertailu on tehty laskemalla huoneistojen määrä tuhatta pientaloasukasta kohden. Koska otannan perusjoukko on vain 83 % kaikista luvan saaneista pientaloasunnoista,

**Taulukko 2.** Maakuntakohtaiset pientaloasuntojen lukumäärät eri pientalotyypeille tämän tutkimuksen otannan perusjoukossa. Perusjoukossa ovat ne asunnot (83 %), joiden rakennuslupa oli myönnetty vuonna 2006 ja jotka olivat vakinaisessa asuinkäytössä marraskuussa 2008. Asuntojen lukumäärä tuhatta asukasta tai pientaloasukasta kohden on arvioitu kaikille vuonna 2006 myönnettyille rakennusluville.

MAAKUNTA	Omakotitalot Asuntojen lukumäärä	Rivi- ja paritalot Asuntojen lukumäärä	Yhteensä Pientalo- asuntojen lukumäärä	Pientalo- asukkaiden määrä maakun- nassa, tuhatta	Asuntoja luvissa tuhatta pientalo- asukasta kohden 2)	Asuntoja luvissa tuhatta asukasta kohden 2)
Uusimaa	2134	1741	3875	592	7,87	3,51
Varsinais-Suomi	1150	534	1684	286	7,08	4,54
Itä-Uusimaa 1)	343	114	457	71	7,74	6,03
Satakunta	438	199	637	174	4,40	3,39
Kanta-Häme 1)	484	362	846	117	8,69	6,13
Pirkanmaa 1)	1020	774	1794	280	7,70	4,71
Päijät-Häme 1)	434	292	726	115	7,58	4,45
Kymenlaakso 1)	337	161	498	128	4,68	3,29
Etelä-Karjala 1)	309	165	474	93	6,13	4,28
Etelä-Savo	260	66	326	118	3,32	2,48
Pohjois-Savo	596	202	798	170	5,64	3,92
Pohjois-Karjala	427	225	652	128	6,12	4,75
Keski-Suomi	702	375	1077	185	7,00	4,88
Etelä-Pohjanmaa	568	445	1013	170	7,16	6,37
Pohjanmaa	443	210	653	127	6,18	4,59
Keski-Pohjanmaa	238	61	299	59	6,09	5,13
Pohjois-Pohjanmaa	1244	811	2055	289	8,55	6,62
Kainuu	156	56	212	66	3,86	3,03
Lappi	482	215	697	141	5,94	4,58
Ahvenanmaa	88	33	121	21	6,92	5,59
<b>Yhteensä</b>	<b>11 853</b>	<b>7041</b>	<b>18 894</b>	<b>3330</b>	<b>6,82</b>	<b>4,41</b>

1) Kuusi korkeimman radonpitoisuuden maakuntaa Hämeessä ja Kaakkois-Suomessa

2) Asuntojen määrä tuhatta asukasta kohden on laskettu kertomalla taulukon huoneistojen lukumäärät tekijällä 1.20, jolloin kokonaismäärä vastaa koko maassa vuonna 2006 myönnettyjen lupien lukumäärää (22 716). Maakuntakohtaiset luvut vastaavat hyvällä tarkkuudella vuoden 2006 rakennuslupien kokonaismääriä.



on asuntojen määrä kerrottu tekijällä 1,20. Tällöin koko maata koskevat luvut vastaavat vuoden 2006 rakennuslupatilannetta. Samoin myös maakuntakohtaiset luvut kerrottuna 1,20:lla vastaavat vuoden 2006 kaikkien lupien määrää hyvällä tarkkuudella. Asukaslukua kohti tehdyllä arviolla on merkitystä arvioitaessa uuden asuntokannan radonpitoisuuden vaikutusta koko maan pientalojen radonpitoisuuteen. Korkeimman radonpitoisuuden maakunnissa myönnettiin lupa 7,2 huoneistolle tuhatta pientaloasukasta kohden. Vastaava luku muille maakunnille on 6,7. Uudisrakentamista tapahtui vuonna 2006 taulukon 2 perusteella pientaloasukkaiden määrään suhteutettuna 7 % enemmän korkeimman radonpitoisuuden maakunnissa kuin alemman radonpitoisuuden maakunnissa. Koko maassa rakennuslupien sisältämien huoneistojen määrä oli tuhatta asukasta kohden 4,4 ja tuhatta pientaloasukasta kohden 6,8.

## 6.2 Osallistuminen tutkimukseen

Tutkimukseen kutsutuista yhteensä 1849 (62 % otoksesta) ilmoitti halukkuutensa tutkimukseen. Näille kaikille myös toimitettiin radonmittauspurkki ja mittauslomakkeet. Mittauspurkin palautti näistä 1705 osallistujaa, mikä on 57 % otannasta (3000) ja 92 % mittauspurkin saaneista, taulukko 3.

Asukkaan palauttaman mittauspurkin tulos hyväksyttiin tutkimukseen, mikäli mittaus oli aloitettu maaliskuun aikana ja mittauksen pituus oli 28–100 vuorokautta. Mittauksista käynnistyi 95 % jo ennen maaliskuun 13 päivää, taulukko 4. Alle 1 % mittauksista oli lyhyempiä kuin 53 vrk. Mittausaikaan liittyvien ehtojen vuoksi hylättiin 126 mittausta. Merkittävin hylkäämisen syy oli purkin palauttaminen myöhään kesällä, jolloin tulos ei enää ole kyllin vertailukelpoinen muuhun aineistoon nähden. Samoin mittaus hylättiin jos asukkaan merkitsemän lopetuspäivän ja Säteilyturvakeskuksen vastaanottopäivän väli oli enemmän kuin 14 vuorokautta. Tuloksen laskennassa käytetty mittausaika saattaa tällöin poiketa liikaa todellisesta mittausajasta. Muista syistä hylättiin 20 mittausta. Mittarit pyydettiin sijoittamaan asuintiloihin alimpaan asuttuun kerrokseen. Se, että asukas raportoi mittarin olleen kellarissa, johti hylkäämiseen. Mittaus hylättiin myös, jos mittari oli sijoitettu muuhun kuin valintatietojen mukaiseen uudisrakennukseen. Päälomaketta ei palautettu 28 mittauspurkin mukana. Mittauksen alku- ja loppupäivät on tällöin arvioitu postitus- ja palautuspäivien mukaan.

Tutkimukseen hyväksytyjä mittauksia oli lopulta 1561 kpl. Tämä on 52 % alkuperäisestä otannasta ja 84 % tutkimuskutsun jälkeen halukkuutensa ilmoittaneista. Mittauspurkin palauttaneista 92 % on lopullisessa tutkimusaineistossa. Lopullinen osallistumisprosentti oli lievästi korkeampi

**Taulukko 3.** Tutkimuksen alkuperäiseen aineistoon valittujen ja siitä eri vaiheissa poisjääneiden asuntojen määrät ja prosenttiosuudet. Lomakkeen palautusprosentit. Talotyyppi perustuu kiinteistörekisterin tietoihin.

Aineisto	Omakoti-talot	Rivitalot ja paritalot	Kaikki yhteensä
Alkuperäinen aineisto	1978	1022	3000
Ilmoitti halukkuudesta, mittari postitettu	1257	592	1849 (62 %)
Ei vastannut tai kieltäytyi	721	430	1151 (38 %)
<b>Mittarin saaneet 1)</b>			
Palautti mittarin	1166 (93 %)	539 (91 %)	1705 (92 %)
Ei palauttanut mittaria	91 (7,2 %)	53 (8,0 %)	144 (7,8 %)
Mittausta ei hyväksytty	98 (8,4 %)	48 (8,9 %)	146 (8,6 %)
Lomake palautettu	1143 (98 %)	534 (99 %)	1677 (98 %)
<b>Lopullinen aineisto</b>	<b>1070 (54 %)</b>	<b>491 (48 %)</b>	<b>1561 (52 %)</b>

1) Prosenttiosuudet niistä, joille mittari on postitettu

**Taulukko 4.** Mittauksen alku- ja loppupäivän sekä mittauksen keston tunnuslukuja.

Tunnusluku	Mittauksen alkupäivä	Mittauksen loppupäivä	Mittauksen kesto vrk
Minimi	25.2.2009	27.3.2009	28
1 % 1)	26.2.	24.4.	53
5 % 1)	27.2.	27.4.	58
Mediaani	3.3.	5.5.	62
95 % 1)	12.3.	31.5.	88
99 % 1)	16.3.	7.6.	96
<b>Maksimi</b>	<b>26.3.</b>	<b>16.6</b>	<b>99</b>

1) Persenttileijä, esim. 1 % havainnoista aikaisempia kuin annettu päivä.

omakotitaloissa (54 %) kuin rivi- ja paritaloissa (48 %). Taulukkoon 3 on koottu tärkeimpiä tutkimuksesta poisjäännin syitä omakoti- ja rivitaloille.

Taulukko 5 antaa maakuntakohtaisen osallistumisaktiivisuuden. Tulokset vaihtelevat 43 %:sta 68 %:iin. Osallistuminen oli parasta Etelä-karjalassa (68 %) ja Etelä-Savossa (67 %) sekä Kainuussa ja Pirkanmaalla (63 %). Osallistuminen oli alhaisinta (43–48 %) Pohjanmaan maakunnissa ja Lapissa mutta myös Kanta-Hämeessä. Osallistumisaktiivisuus ei ole selkeästi suhteessa alueen radonpitoisuuteen. Sekä korkeimman että alhaisen radonpitoisuuden maakuntia on sekä hyvän että hieman heikomman osallistumisen alueilla.

**Taulukko 5.** Osallistuminen tutkimukseen maakunnittain.

Maakunta	Tutkimukseen kutsuttujen määrä	Tutkimukseen osallistuneiden määrä	Osanotto %
Uusimaa	597	293	49,1
Varsinais-Suomi	263	147	55,9
Itä-Uusimaa	74	36	48,6
Satakunta	105	60	57,1
Kanta-Häme	136	62	45,6
Pirkanmaa	284	179	63,0
Päijät-Häme	114	54	47,4
Kymenlaakso	77	43	55,8
Etelä-Karjala	75	51	68,0
Etelä-Savo	48	32	66,7
Pohjois-Savo	132	75	56,8
Pohjois-Karjala	109	62	56,9
Keski-Suomi	173	91	52,6
Etelä-Pohjanmaa	163	70	42,9
Pohjanmaa	106	47	44,3
Keski-Pohjanmaa	48	22	45,8
Pohjois-Pohjanmaa	334	154	46,1
Kainuu	35	22	62,9
Lappi	109	52	47,7
Ahvenanmaa	18	9	50,0
<b>Yhteensä</b>	<b>3000</b>	<b>1561</b>	<b>52,0</b>

### 6.3 Pientalojen ominaisuuksista

Tiedonkeruulomakkeet antavat arvokasta perustietoa uusimpien pientalojen ominaisuuksista. (Liitteet 2 ja 3). Kyselylomakkeiden yksityiskohtaiset täyttötiedot on annettu liitteissä 4 ja 5.

Taulukkoon 6 on koottu joitain keskeisiä tietoja pientalojen ominaisuuksista. Perustustapaa, radontorjuntatoimia ja ilmanvaihtoa on käsitelty luvuissa 6.5 – 6.9. Pientaloista alle 10 %:ssa on betoni kantavana materiaalina. Rivitaloissa vastaava osuus on 24 %. Betonirakenteisissa pientaloissa betonin kivimateriaalista erittyvä radon kasvattaa radonpitoisuutta keskimäärin vähemmän kuin 36 Bq/m<sup>3</sup>. Arvio perustuu valtakunnallisen otantatutkimuksen (Mäkeläinen ym. 2009) antamaan kerrostaloasuntojen radonpitoisuuden mediaaniin. Mediaani 36 Bq/m<sup>3</sup> on laskettu asunnoille, joiden alapuolella on toinen asunto tai varas-  
totiloja. Pientaloissa esim. katto voi olla puurakenteinen toisin kuin kerrostaloissa. Tämä vähentää radonpitoisuuksia.

**Taulukko 6.** Vuonna 2006 rakennusluvan saaneiden pientalohuoneistojen ominaisuuksia

Asunnon tai rakennuksen ominaisuus	Omakotitalot	Rivi- ja paritalot
Pinta-ala m <sup>2</sup> , keskiarvo	147	88
Kerrosten lukumäärä, matalaperustaiset talot, keskiarvo	1,8	1,8
Kerrosten lukumäärä, rinnetalot, keskiarvo	2,6	2,5
Puu kantavana materiaalina, osuus	84 %	53 %
Valubetoni kantavana materiaalina, osuus	7 %	24 %
Matalaperustaisten pientalojen osuus	85 %	82 %
Rinne- ja kellaritalojen osuus	15 %	18 %
Maanvarainen laatta (matalaperustainen), osuus	65 %	63 %
Tuulettuva alapohja, osuus	19 %	18 %
Radonputkiston asennus suoritettu, osuus	56 %	26 %
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, osuus	93 %	93 %

**Taulukko 7.** Vuosina 2006 – 2008 valmistuneiden pientalojen keskeisiä radonpitoisuuden tunnuslukuja omakoti- sekä rivi- ja paritaloille.

Tunnusluku	Omakoti-talot	Rivi- ja paritalot	Yhteensä
Mitattujen asuntojen lukumäärä	1070	491	1561
Painottamattomat arvot			
Aritmeettinen keskiarvo Bq/m <sup>3</sup>	92	100	95
Mediaani Bq/m <sup>3</sup>	59	54	58
Minimi Bq/m <sup>3</sup>	1	1	1
Maksimi Bq/m <sup>3</sup>	2030	4310	4310
100 Bq/m <sup>3</sup> ylittävien %-osuus	29,5	29,1	29,4
200 Bq/m <sup>3</sup> ylittävien %-osuus	10,4	11,0	10,6
400 Bq/m <sup>3</sup> ylittävien %-osuus	1,8	2,9	2,1
800 Bq/m <sup>3</sup> ylittävien %-osuus	0,3	0,2	0,3
<b>Maakuntien pientaloasukkaiden määrällä painotetut arvot</b>			
Aritmeettinen keskiarvo Bq/m <sup>3</sup>			95
Mediaani Bq/m <sup>3</sup>			58
<b>Maakunnan rakennusluvuissa olevien huoneistojen määrällä painotetut arvot</b>			
Aritmeettinen keskiarvo Bq/m <sup>3</sup>			95
Mediaani Bq/m <sup>3</sup>			57

## 6.4 Radonpitoisuus

Tutkimukseen hyväksyttyjen 1561 asunnon radonpitoisuuden keskiarvo oli  $95 \text{ Bq/m}^3$ . Rivi- ja paritaloissa keskiarvo oli  $100 \text{ Bq/m}^3$  ja omakotitaloissa  $92 \text{ Bq/m}^3$ . Keskeiset tulokset on koottu taulukkoon 7. Tutkimuksen tavoitteena on arvioida rakennusluvan vuonna 2006 saaneiden pientalojen radonpitoisuutta. Erilainen osallistumisaktiivisuus radonpitoisuudeltaan erilaisissa maakunnissa voi aiheuttaa tulokseen vääristymää. Vääristymää voidaan korjata painottamalla tuloksia maakuntien rakennusluvuissa olevien huoneistojen määrällä. Painottaminen piti tunnusluvut lähes ennallaan, taulukko 7.

Säteilyturvakeskuksen valtakunnallinen otantatutkimus 2006 – 2007 perustui satunnaiseen väestötantaan (Mäkeläinen ym. 2009). Vertailtaessa tämän tutkimuksen aineistoa otantatutkimukseen, maakuntien tuloksia tulee painottaa maakunnan pientaloasukkaiden määrällä. Asukasmääräpainotus ei muuttanut tunnuslukuja, taulukko 7.

Tutkittujen uudisrakennusten radonpitoisuuden keskiarvo  $95 \text{ Bq/m}^3$  on 21 % pienempi kuin otantatutkimuksen pientalojen maakuntien asukasmäärällä painotettu keskiarvo  $121 \text{ Bq/m}^3$ . Vastaavasti tämän tutkimuksen mediaani  $58 \text{ Bq/m}^3$  on 23 % pienempi kuin otantatutkimuksen mediaani  $75 \text{ Bq/m}^3$ . Tämän tutkimuksen tuloksia on vertailtu aikaisemmin rakennettujen pientalojen radonpitoisuuksiin tarkemmin luvussa 7.

Maakuntakohtaiset tulokset on esitetty taulukoissa 8 ja 9. Suurimmat radonpitoisuudet valtakunnallisessa otantatutkimuksessa esiintyivät Hämeen ja Kaakkois-Suomen alueella: Itä-Uudenmaan, Kymenlaakson, Päijät-Hämeen, Pirkanmaan, Etelä-Karjalan ja Kanta-Hämeen maakunnissa. Näissä korkeimman radonpitoisuuden maakunnissa radonpitoisuuden tunnuslukujen pieneneminen on ollut voimakasta. Kanta-Hämeessä, Pirkanmaalla, Päijät-Hämeessä ja Kymenlaaksossa radonpitoisuuden mediaanin pienennys on yli 40 % ja Itä-Uusimaalla jopa 70 %. Itä-Uudenmaan mitattujen asuntojen määrä (36 kpl) on alhainen ja tuloksen luotettavuus on pienempi kuin suuremmissa maakunnissa. Pirkanmaalla enimmäisarvojen ylitysosuudet ovat laskeneet maan keskimääräisen ylitysosuuden alapuolelle. Vastaavasti Uusimaa, Keski-Suomi ja Lappi ovat nousseet niiden maakuntien joukkoon, joissa sekä pientalojen radonpitoisuuden mediaani että  $200 \text{ Bq/m}^3$  ylitysosuus ovat koko maan keskiarvojen yläpuolella.

Uusien asuntojen radonpitoisuuden enimmäisarvon  $200 \text{ Bq/m}^3$  ylitti 10.6 % kaikista mittauksista. Taulukko 9 antaa maakuntakohtaiset ylitykset. Suurimmat ylitysosuudet 28 % ja 30 % mitattiin Päijät-Hämeessä ja Kymenlaaksossa. Keski-Pohjanmaa oli ainoa maakunta, jossa ei tässä tutkimuksessa mitattu  $200 \text{ Bq/m}^3$  ylityksiä. Pohjois-Pohjanmaalla mitattiin vain yksi ylitys –  $201 \text{ Bq/m}^3$ .

**Taulukko 8.** Uudisrakennusten sisäilman radonpitoisuuden tunnuslukuja maakunnittain. Tuloksia on verrattu koko pientalokantaan, vertailuarvoina vuoden 2006 otantatutkimuksen vuosikeskiarvotulokset.

Maakunta	Lukumäärä	Tämä tutkimus Radonpitoisuus Bq/m <sup>3</sup>				Vuoden 2006 otanta- tutkimus, vuosikeskiarvo Bq/m <sup>3</sup>	
		Keski-arvo	Mediaani	Min	Max	Keski-arvo	Mediaani
Uusimaa	293	101	55	1	2033	137	93
Varsinais-Suomi	147	72	37	6	345	95	71
Itä-Uusimaa	36	119	61	9	645	317	200
Satakunta	60	66	36	10	423	64	49
Kanta-Häme	62	185	75	11	4306	159	130
Pirkanmaa	179	90	62	3	579	177	124
Päijät-Häme	54	145	91	16	639	216	167
Kymenlaakso	43	176	107	7	976	230	186
Etelä-Karjala	51	116	86	21	324	180	129
Etelä-Savo	32	84	78	11	280	88	77
Pohjois-Savo	75	65	42	2	562	72	64
Pohjois-Karjala	62	121	96	17	704	108	95
Keski-Suomi	91	105	78	1	415	120	82
Etelä-Pohjanmaa	70	86	70	4	408	80	55
Pohjanmaa	47	60	42	7	424	43	34
Keski-Pohjanmaa	22	43	34	10	169	45	41
Pohjois-Pohjanmaa	154	52	45	5	201	57	44
Kainuu	22	98	46	8	761	150	69
Lappi	52	99	83	8	339	98	72
Ahvenanmaa	9	84	68	19	291	116	115
<b>Yhteensä 1)</b>	<b>1561</b>	<b>95</b>	<b>58</b>	<b>1</b>	<b>4306</b>	<b>125</b>	<b>77</b>

1) Keskiarvo ja mediaani laskettu maakuntien asukasmäärällä painottamattomilla arvoilla

**Taulukko 9.** Uudisrakennusten sisäilman radonpitoisuuden tunnuslukuja maakunnittain. Enimmäisarvojen 200 Bq/m<sup>3</sup> ja 400 Bq/m<sup>3</sup> sekä radonpitoisuuden 100 Bq/m<sup>3</sup> ylitysprosentit. Tuloksia on verrattu koko pientalokantaan, vertailuarvoina vuoden 2006 otantatutkimuksen vuosikeskiarvotuloksien antamat ylitysosuudet.

Maakunta	Lukumäärä	Ylitysosuus 100 Bq/m <sup>3</sup> %-osuus		Ylitysosuus 200 Bq/m <sup>3</sup> %-osuus		Ylitysosuus 400 Bq/m <sup>3</sup> %-osuus	
		Tämä tutkimus	Otanta 2006	Tämä tutkimus	Otanta 2006	Tämä tutkimus	Otanta 2006
Uusimaa	293	29,4	46,3	12,3	17,2	3,1	5,0
Varsinais-Suomi	147	22,4	34,2	10,9	9,3	0,0	1,0
Itä-Uusimaa	36	38,9	76,2	19,4	50,8	8,3	22,2
Satakunta	60	20,0	15,5	6,7	1,8	1,7	0,0
Kanta-Häme	62	40,3	60,9	17,7	26,4	8,1	3,4
Pirkanmaa	179	32,4	58,2	8,9	31,4	1,1	7,7
Päijät-Häme	54	48,1	75,9	27,8	38,0	7,4	10,1
Kymenlaakso	43	53,5	71,6	30,2	48,1	7,0	12,3
Etelä-Karjala	51	45,1	59,7	15,7	29,2	0,0	6,9
Etelä-Savo	32	31,3	36,8	3,1	2,9	0,0	0,0
Pohjois-Savo	75	18,7	20,2	1,3	1,9	1,3	0,0
Pohjois-Karjala	62	48,4	46,3	9,7	11,9	1,6	1,5
Keski-Suomi	91	39,6	41,4	15,4	10,5	1,1	3,0
Etelä-Pohjanmaa	70	30,0	22,2	7,1	6,5	1,4	1,9
Pohjanmaa	47	14,9	6,5	2,1	0,0	2,1	0,0
Keski-Pohjanmaa	22	4,5	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Pohjois-Pohjanmaa	154	8,4	13,5	0,6	2,2	0,0	0,0
Kainuu	22	18,2	22,4	9,1	12,2	4,5	8,2
Lappi	52	40,4	33,9	13,5	10,1	0,0	0,9
Ahvenanmaa	9	22,2	53,8	11,1	15,4	0,0	0,0
<b>Yhteensä</b>	<b>1561</b>	<b>29,4</b>	<b>39,9</b>	<b>10,6</b>	<b>15,8</b>	<b>2,1</b>	<b>4,0</b>

**Taulukko 10.** Radonpitoisuuden keskiarvo ja mediaani uudisrakennuksissa korkeimman radonpitoisuuden maakunnissa (Alue 1) ja muualla Suomessa (Alue 2). Tuloksia on verrattu koko pientalokantaan, vertailuarvoina vuoden 2006 otantatutkimuksen vuosikeskiarvotulokset. Omakotitalot – Okt, rivi- ja paritalot – Rivit.

Tutkimus ja alue	Radonpitoisuuden keskiarvo			Radonpitoisuuden mediaani			Radonpitoisuuden mediaanin (keskiarvon) alenema uudisrakennuksissa verrattuna koko pientalokantaan, vuoden 2006 otantatutkimus %		
	Bq/m <sup>3</sup>			Bq/m <sup>3</sup>					
	Okt	Rivit	Yht	Okt	Rivit	Yht	Okt	Rivit	Yht
<b>Tämä tutkimus</b>									
Alue 1	110	154	125	72	79	74	46 (44)	55 (31)	48 (38)
Alue 2	86	77	83	55	47	53	17 (12)	33 (22)	21 (15)
Koko maa	92	100	95	59	54	58	21 (25)	36 (22)	25 (24)
<b>Otanta-tutkimus 2006</b>									
Alue 1	196	222	203	132	174	141			
Alue 2	98	99	98	66	70	67			
Koko maa	123	128	125	75	85	77			

Alue 1: Maakunnat Itä-Uusimaa, Kymenlaakso, Päijät-Häme, Pirkanmaa, Etelä-Karjala ja Kanta-Häme

Alue 2: Muu Suomi

Vuoden 2006 otantatutkimukseen verrattuna 200 Bq/m<sup>3</sup> ylitysten aleneminen kuudessa korkeimman radonpitoisuuden maakunnassa (Alue 1) on 9 – 31 prosenttiyksikköä. Alemman radonpitoisuuden maakunnissa ylitysten määrät ovat pieniä ja tilastollisesti vaihtelevia. Vertailu otantatutkimukseen kertoo että muualla Suomessa aleneminen on selkeästi vähäisempää kuin korkean radonpitoisuuden maakunnissa, osassa maakuntia ylitysten määrä on myös kasvanut.

Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty radonpitoisuuden tunnusluvut kuudelle korkeimman radonpitoisuuden maakunnalle (Alue 1) ja muun Suomen alueelle (Alue 2). Tuloksia on taulukoissa verrattu vuoden 2006 otantatutkimukseen. Tämän tutkimuksen tuloksissa erot näiden kahden alueen välillä ovat pienentyneet. Vuoden 2006 otantatutkimuksessa korkeimman radonpitoisuuden alueella radonpitoisuuden mediaani oli 110 % korkeampi kuin muualla Suomessa (Taulukko 10). Tässä tutkimuksessa vastaa ero oli vain 40 %.

Verrattaessa vuoden 2006 otantatutkimukseen radonpitoisuuden mediaanin pieneneminen on korkeimman radonpitoisuuden maakunnissa 48 % ja vastaavasti muualla Suomessa vain 21 %. Enimmäisarvon 200 Bq/m<sup>3</sup> ylitys-



**Taulukko 11.** Enimmäisarvojen 200 Bq/m<sup>3</sup> ja 400 Bq/m<sup>3</sup> ylitysosuudet uudisrakennuksissa korkeimman radonpitoisuuden maakunnissa (Alue 1) ja muualla Suomessa (Alue 2). Tuloksia on verrattu koko pientalokantaan, vertailuarvoina vuoden 2006 otantatutkimuksen vuosikeskiarvotulokset. Omakotitalot – Okt, rivi- ja paritalot – Rivit.

Tutkimus ja alue	Enimmäisarvon 200 Bq/m <sup>3</sup> ylitysoisuus			Enimmäisarvon 400 Bq/m <sup>3</sup> ylitysoisuus			200 Bq/m <sup>3</sup> ylitysoisuuden alenema uudisrakennuksissa verrattuna koko pientalokantaan, vuoden 2006 otantatutkimus Prosenttiyksikköä 1)		
	Okt	Rivit	Yht	Okt	Rivit	Yht	Okt	Rivit	Yht
<b>Tämä tutkimus</b>									
Alue 1	15,0	19,3	16,5	2,9	6,2	4,0	18,6	25,4	19,3
Alue 2	8,7	7,5	8,4	1,4	1,4	1,4	0	2,5	0,6
Koko maa	10,4	11,0	10,6	1,8	2,9	2,1	4,8	7,2	5,2
<b>Otantatutkimus 2006</b>									
Alue 1	33,6	44,7	35,8	9,2	10,5	9,5			
Alue 2	8,7	10,0	9,0	2,1	2,4	2,1			
Koko maa	15,2	18,2	15,8	3,9	4,3	4,0			

Alue 1: Maakunnat Itä-Uusimaa, Kymenlaakso, Päijät-Häme, Pirkanmaa, Etelä-Karjala ja Kanta-Häme

Alue 2: Muu Suomi

1) Prosenttiosuuskien erotus

osuus alueella 1 oli vuoden 2006 otantatutkimuksessa 36 % ja tässä tutkimuksessa 17 %. Prosenttiosuuden alenema on siten 19 prosenttiyksikköä. Muun Suomen alueella vastaa 200 Bq/m<sup>3</sup> ylitysoisuus oli molemmissa tutkimuksissa noin 9 %.

## 6.5 Perustustavan vaikutus

Perustustavan luokittelu on tehty yhdistämällä kyselylomakkeen ”Pientalotyyppi” ja ”Matalaperustaisen pientalon perustustapa” antamat tiedot. Matalaperustaiset perustamistavat, joita lomakkeessa kysytään, ovat maanvarainen laatta, reunavahvistettu (lomakkeessa reunajäykistetty) laatta sekä tuulettuva alapohja (ryömintätilainen perustus). Rinne- ja kellaritalot ryhmiteltiin omaan yhteiseen luokkaansa. Taulukko 12 antaa perustustapojen osuudet lomaketietojen perusteella.

Perustapoja ei tarkistettu puhelimitse lukuun ottamatta reunavahvistetuksi laataksi ilmoitettuja kohteita. Näistä noin puolet osoittautuivat puhelinhaastattelussa normaaleiksi maanvaraisiksi laatoiksi, jossa lattialaatta

**Taulukko 12.** Perustustapa omakoti- sekä rivi- ja paritaloissa lomaketietojen perusteella. Perustustapa oli jätetty ilmoittamatta omakotitaloille 8 %:ssa sekä rivi- ja paritaloissa 48 %:ssa kohteista.

Perustustapa	Omakotitalot		Rivi- ja paritalot	
	Lukumäärä	Osuus tietoja antaneista %	Lukumäärä	Osuus tietoja antaneista %
Ei tietoa	83		238	
Rinne- ja kellari	149	15	44	18
Maanvarainen laatta, matalaperustainen talo	638	65	160	63
Reunavahvistettu laatta, matalaperustainen talo	15	1	3	1
Tuulettuva alapohja, matalaperustainen talo	185	19	46	18
<b>Kaikki</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

on valettu jälkikäteen perusmuurien (sokkelin) sisään. Reunavahvistetuista laatoista ja tutkimusaineistosta hylättiin myös yksi kohde, jossa oli mitattu porakaivovedessä erittäin korkea radonpitoisuus. Asunnon kohonnut radonpitoisuus johtuu joko tiivistämättömistä läpivienneistä tai talousveden radonpitoisuudesta.

Radonpitoisuudet ovat ylivoimaisesti pienimpiä reunavahvistetulla laattalla tai tuulettuvalla alapohjalla varustetuissa taloissa (Taulukko 13). Molemmissa luokissa radonpitoisuuden mediaani on alle 30 Bq/m<sup>3</sup>. Normaaleissa maanvaraisen laatan taloissa mediaani on sekä omakoti- että rivitaloissa 68 Bq/m<sup>3</sup>. Rinne- ja kellaritaloissa radonpitoisuuden keskiarvo ja mediaani ovat 50 % ja lähes 100 % korkeampia kuin maanvaraisen laatan taloissa. Pääsyy näihin kohonneisiin arvoihin on maanvastaisten harkkorakenteisten seinien radontorjunnan puutteellisuus

Rinnetalojen maanvastaisten rakenteiden radonvuodot näkyvät voimakkaasti myös enimmäisarvon 200 Bq/m<sup>3</sup> ylityksissä (Taulukko 14). Niitä oli rinne- ja kellarityyppisissä omakotitaloissa 22 %, kun matalaperustaisissa maanvaraisen laatan taloissa ylityksiä oli 11 %. Tuulettuvalla alapohjalla ja reunavahvistetulla laattalla varustetuissa taloissa ylitykset ovat harvinaisia.

**Taulukko 13.** Radonpitoisuuden keskiarvo ja mediaani eri perustustapaluokissa omakoti- sekä rivi- ja paritaloissa.

Perustamistapa	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot			Kaikki pientalot		
	Lkm	Keski-arvo	Med	Lkm	Keski-arvo	Med	Lkm	Keski-arvo	Med
Maanvarainen laatta	638	96	68	160	101	68	798	97	68
Reunavahvistettu laatta 1)	15	38	28	3	28	21	18	36	27
Tuulettuva alapohja	185	44	27	46	39	32	231	43	29
Rinne- ja kellaritalot	149	151	100	44	195	82	193	161	97
Ei tietoa	83	75	51	238	94	55	321	89	54
<b>Kaikki</b>	<b>1070</b>	<b>92</b>	<b>59</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>54</b>	<b>1561</b>	<b>95</b>	<b>58</b>

1) Mukana vain puhelinhaastattelun avulla varmennetut kohteet.

**Taulukko 14.** Radonpitoisuuden enimmäisarvojen 200 Bq/m<sup>3</sup> ja 400 Bq/m<sup>3</sup> ylitykset eri perustustapaluokissa omakoti- sekä rivi- ja paritaloissa.

Perustustapa	200 Bq/m <sup>3</sup> ylitysosuus %			400 Bq/m <sup>3</sup> ylitysosuus %		
	Omakotitalot	Rivitalot	Kaikki	Omakotitalot	Rivitalot	Kaikki
Maanvarainen laatta	10,0	13,1	10,7	1,4	2,5	1,6
Reunavahvistettu laatta 1)	0	0	0	0	0	0
Tuulettuva alapohja	3,2	0	2,6	0	0	0
Rinne- ja kellaritalot	24,2	15,9	22,3	6,7	2,2	5,7
Ei tietoa	6,0	10,9	9,7	0	3,8	2,8
<b>Kaikki</b>	<b>10,4</b>	<b>11,0</b>	<b>10,6</b>	<b>1,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,1</b>

1) Mukana vain puhelinhaastattelun avulla varmennetut kohteet.

## 6.6 Torjuntatoimien luokittelu

Tiivistämistöiden ja radonputkiston asentamisen vaikutusta tutkittiin erikseen matalaperustaisissa ja rinnetaloissa. Matalaperustaisista taloista tarkasteluun otettiin vain maanvaraiselle laatalle rakennetut talot. Tuulettuvalla alapohjalla ja reunavahvistetulla laatalle varustettujen talojen radonpitoisuuksia on tarkasteltu luvussa 6.5. Rivitalot jätettiin pois tarkastelusta asukkaiden antaman tiedon puutteellisuuden vuoksi (Taulukko 12 ja Liitteet 4 ja 5).

Torjuntatoimet luokiteltiin luvun 6.8 taulukon 17 mukaisiin pääluokkiin. Luokittelussa hyödynnettiin sekä päälomakkeen (Liite 2) ja lisälomakkeen (Liite 3) antamia tietoja. Jos lisälomake oli täyttämättä, hyödynnettiin päälomakkeen johdonmukaisesti täytettyjä tietoja ja myös päinvastoin.

Radontorjunnan tiivistämistoimia ja radonputkiston asentaminen on esitetty lyhyesti liitteessä 6. Ohjeiden mukaisesti radonputkiston poistohormi kannattaa viedä vesikaton yläpuolelle ja jättää avoimeksi. Lämpötilaero ja tuuli aiheuttavat putkistoon radonpitoisuutta alentavan ilmapvirtauksen. Tässä raportissa tällaista putkistoa kutsutaan vapaasti tuulettuvaksi radonputkistoksi (VTP). Poistohormiin kytketään poistopuhallin, mikäli tiivistämistoimet ja vapaasti tuulettuva putkisto eivät ole riittäviä toimenpiteitä.

Maanvaraisella laadulla varustettuja matalaperustaisia omakotitaloja, joissa asukkaan antamien tietojen perusteella on asennettu sekä bitumikermi että vapaasti tuulettuva radonputkisto oli yhteensä 166 (Taulukko 17). Aukkaiden antamaa tietoa tarkistettiin pistokoemaisilla puhelinsoitoilla. Soittojen perusteella satunnaisesti valituissa kohteissa vain alle 15 %:sta puuttui ohjeiden mukainen kermi. Vapaasti tuulettuvaan putkistoon liittyvissä tiedoissa ei käynyt ilmi puutteita kaikkiaan 25 tarkistetussa kohteessa. Puhelinsoitoilla todettiin myös että lähes puolessa kohteista, joissa radonpitoisuus oli yli 200 Bq/m<sup>3</sup>, ohjeen mukaista bitumikermiä ei oltu asennettu. Puhelinsoitoin todetut muutokset kirjattiin tietoaaineistoon.

Kohteet joissa oli asennettu sekä kermi että VTP muodostavat oman luokansa (Kermi ja VTP, taulukko 17). Niistä erotettiin kohteet joista oli selkeä tieto VTP:stä ja sekä siitä että kermiä ei oltu asennettu (VTP, taulukko 17). Ne kohteet joista tiedetään vain että putkisto on asennettu mutta ei sitä onko putkisto suljettuna varauksena sisätiloissa vai avoimena ulkona, muodostavat kolmannen putkistoryhmän (Putkisto avoin tai suljettu, taulukko 17).

Kohteita, joissa lomakkeen perusteella ei oltu suoritettu torjuntatoimia oli aineistossa 233 kpl (taulukko 17). Näiden osalta ei tehty tarkistuksia. Putkiston asentamatta jättäminen on tämän ”ei-torjuntatoimia”-luokan valintakriteeri.

Puhelinsoittojen perusteella bitumikerman asentaminen oli suoritettu vain harvoin, jos putkistoa ei ole asennettu. Kermi ei tavallisesti vastannut ohjeen vaatimuksia vaan kyseessä oli kapea alaohjauspuun ja sokkelin välissä oleva bitumikermi, joka ei auta radonpitoisen ilman vuotojen estämisessä. Tiedustelujen tulos on odotettu koska kuntien rakennusvalvontaviranomaiset eivät vaadi tiivistämistöitä yksinään vaan yhdessä putkiston asentamisen kanssa.

**Taulukko 15.** Torjuntatoimien suorittaminen maakunnissa. Matalaperustaiset omakotitalot, joissa on maanvarainen laatta. Tilastot perustuvat asukkaiden kyselylomakkeella antamiin tietoihin.

Maakunta	Tietoa antaneiden asuntojen määrä	Torjuntatoimia suoritettu, osuus %
Uusimaa	37	92
Varsinais-Suomi	18	17
Itä-Uusimaa	7	86
Satakunta	15	20
Kanta-Häme	22	73
Pirkanmaa	57	95
Päijät-Häme	13	100
Kymenlaakso	14	100
Etelä-Karjala	19	100
Etelä-Savo	18	39
Pohjois-Savo	35	83
Pohjois-Karjala	33	91
Keski-Suomi	31	84
Etelä-Pohjanmaa	36	8
Pohjanmaa	15	7
Keski-Pohjanmaa	10	0
Pohjois-Pohjanmaa	72	0
Kainuu	9	100
Lappi	30	0
Ahvenanmaa	6	0
<b>Yhteensä</b>	<b>497</b>	<b>54</b>

**Taulukko 16.** Torjuntatoimien suorittaminen korkeimman radonpitoisuuden maakunnissa (Alue 1) ja muualla maassa (Alue 2) . Omakotitalot, joissa on maanvarainen laatta. Tilastot perustuvat asukkaiden kyselylomakkeella antamiin tietoihin.

Maakunnat	Putkiston asentaneiden lkm ja osuus		Sekä kermi että putkisto asennettu, lkm ja osuus	
	Lkm	%	Lkm	%
Alue 1: Itä-Uusimaa, Kymenlaakso, Päijät-Häme, Pirkanmaa, Etelä-Karjala ja Kanta-Häme	122	92	110	83
Alue 2: Muu Suomi	145	38	118	32
<b>Yhteensä</b>	<b>267</b>	<b>54</b>	<b>228</b>	<b>46</b>

## 6.7 Torjuntatoimien yleisyys

Torjuntatoimien yleisyyttä arvioitaessa asetettiin hyväksytyn toimenpiteen ehdoksi radonputkiston asentaminen. Osassa kohteita putkisto on tulpattu sisätiloihin. Tällöin sillä ei ole vaikutusta radonpitoisuuteen mutta putkistoon voidaan myöhemmin kytkeä ulos vievä poistohormi. Poistoputkistoon voidaan edelleen tarvittaessa kytkeä poistopuhallin. Myös sisätiloihin tulpatut radonputkistot luokiteltiin torjuntatoimiksi yleisyyttä arvioitaessa.

Maakuntakohtaiset torjunta-aktiivisuudet on annettu taulukossa 15. Torjuntatoimia on asukkaiden ilmoituksen perusteella tehty 54 %:ssa kohteista, taulukot 15 ja 16. Bitumikermi oli asennettu samanaikaisesti putkiston kanssa 46 %:ssa kohteista. Kuuden korkeimman radonpitoisuuden maakunnassa toimia oli tehty 92 %:ssa kohteista ja muiden maakuntien alueella 38 %:ssa, taulukko 16.

Tulokset perustuvat niihin tiedonkeruulomakkeisiin, joissa on selkeästi ilmoitettu torjuntatoiminen suorittamisesta tai suorittamatta jättämisestä. Jos tutkimuksesta kokonaan poisjääneiden pientaloissa torjuntatilanne on huonompi kuin tutkimukseen mukaan lähteneiden taloissa, tulokset antavat liian korkean arvion torjunta-aktiivisuudesta.

## 6.8 Torjuntatoimien vaikuttavuus

### Matalaperustaiset pientalot

Torjuntatoimien vaikutusta tutkittiin vertaamalla torjuntatoimia suorittaneiden kohteiden tuloksia kohteisiin, joissa toimenpiteitä ei suoritettu. Vertailussa hyödynnettiin Säteilyturvakeskuksen 87 000 pientaloasuntoa sisältävän mittaustietokannan antamia alueellisia radontietoja (Valmari ym. 2010). Paikkakuntakohtaiseksi vertailuarvoksi valittiin mitatun kohteen postinumeroalueen pientaloasuntojen radonpitoisuuksien mediaani. Mikäli havainnot postinumeroalueella oli alle 10, on käytetty koko kunnan mittauksien mediaania. Kullekin mittaukselle on lisäksi laskettu radonpitoisuuden suhde paikkakuntakohtaiseen vertailuarvoon. Näin saatuja suhdelukuja hyödynnettiin torjuntamenetelmien vertailussa. Vertailun tulokset matalaperustaisille maanvaraisen laatan taloille on esitetty taulukoissa 17 ja 18.

Tulosten perusteella paikkakuntakohtaisten vertailuarvojen mediaani torjuntaa suorittaneille kohteille on noin kaksinkertainen verrattuna kohteisiin, joissa torjuntatoimia ei ole tehty. Kohteissa, joissa putkisto on asennettu, vertailuarvojen mediaanit ovat 100 – 130 Bq/m<sup>3</sup>. Niiden kohteiden osalta, joissa torjuntaa ei ole tehty vertailuarvojen mediaani on 58 Bq/m<sup>3</sup>. Radontorjuntaa on

siten suoritettu erityisesti korkean radonpitoisuuden alueilla. Torjuntatoimien tehosta kertoo se, että torjuntaa suorittaneiden ja ei-suorittaneiden talojen radonpitoisuudet olivat jo lähellä toisiaan. Kohteissa, joissa oli asennettu bitumikermi ja vapaasti tuulettuva radonputkisto, mediaani  $53 \text{ Bq/m}^3$  on jopa pienempi kuin ei-torjuntaa ryhmän mediaani  $68 \text{ Bq/m}^3$ .

Torjuntamenetelmien radonpitoisuutta alentava vaikutus laskettiin regressioanalyysillä vertailemalla mitattuja radonpitoisuuksia paikallisiin vertailuarvoihin eri torjuntaluokissa, taulukko 17. Toimenpiteen alentava vaikutus on laskettu regressiokertoimien suhteena vertailukohtana ei-toimenpiteitä luokka. Näin menetellen korjattiin tutkimusaineiston ja vertailuaineiston radonpitoisuuksien välistä systemaattista eroa. Kuva 4 esittää luokkien ”Ei torjuntatoimia” ja ”Kermi ja VTP” aineistoa ja regressiosuoria.

Tulosten perusteella matalaperustaisissa maanvaraisen laatan taloissa kermi ja VTP alentavat radonpitoisuutta 55 % (virherajat 45 % – 70 %). Pelkän vapaasti tuulettuvan putkiston (VTP) asentaminen alentaa tulosten mukaan pitoisuutta noin 40 % (virherajat 25 % – 60 %). Virherajat tässä arvioissa ovat suuret kohteiden alhaisen määrän johdosta. Niissä kohteissa, joissa putkistoon liittyvä tieto on hatarampaa (Putkisto, avoin tai suljettu) tulokset ovat samansuuntaisia.~

Torjuntatoimien vaikutus näkyy selkeästi myös enimmäisarvon  $200 \text{ Bq/m}^3$  ylityksissä. Torjuntaa suorittaneissa kohteissa esiintyi enimmäisarvon  $200 \text{ Bq/m}^3$  ylityksiä vain 8 %, kun samojen kohteiden paikkakuntaakohtaisissa vertailuarvoissa ylitysosuus oli keskimäärin 29 %.

Torjuntatoimien vaikutusta on arvioitu käyttämällä radonpitoisuuden vertailuarvoja, jotka on laskettu paikkakunnalla aikaisemmin suoritetuista radonmittauksista. Jos rakennusmaan radonriskiluokka (alhaisin tiiviillä maalajeilla, korkein karkeilla sora- ja louhitulla kalliolla) poikkeaa paikkakunnalla mitattujen asuntojen keskimääräisestä tilanteesta, vertailuarvo on joko liian korkea tai alhainen. Toisaalta tällaisten poikkeamien vaikutus vähenee suuressa aineistossa, koska vaikutus voi olla sekä vertailuarvoa pienentävä että suurentava. Vertailuarvojen laskennassa on mukana myös rinne- ja kellaritaloja sekä tuulettuvalla alapohjalla varustettuja taloja. Niiden poistaminen aineistosta olisi johtanut aineiston määrän pienemiseen. Toisaalta rinne- ja kellaritalojen pitoisuudet korreloivat merkittävästi paikkakuntaakohtaisesti verrattaessa matalaperustaisten talojen radonpitoisuuksiin.

Matalaperustaisille taloille saaduissa tuloksissa on vertailumenetelmään ja kyselytietojen puutteellisuuteen liittyvää epätarkkuutta. Arvioitu torjuntatoimien vaikuttavuus todennäköisesti kasvaisi, jos asukkaan tietojen puutteellisuudesta johtuvat virheet korjattaisiin.

Tulokset antavat vahvan näytön siitä, että uudisrakentamisen radontorjunnan ohjeistuksen mukaiset toimenpiteet ovat alentaneet merkittävästi radonpitoisuuksia vuonna 2006 rakennusluvan saaneissa matalaperustaisissa omakotitaloissa.

### **Rinne- ja kellaritalot**

Torjuntatoimien vaikutusta arvioitiin edellä kuvatulla menetelmällä myös rinne- ja kellaritaloissa. Ohjeiden mukainen bitumikerman asennustyö (Liite 6) ja VTP alensivat radonpitoisuutta noin 30 %, mikä on selkeästi vähemmän kuin edellä saatu arvio matalaperustaisille taloille. Seuraavat tekijät vaikuttavat tulokseen:

- Rinne- ja kellaritalojen lomaketiedossa on enemmän epätarkkuutta kuin matalaperustaisten talojen tiedoissa.
- Kevytsoraharkosta tehtyjen maanvastaisten seinien tiivistäminen on vaativa toimenpide. Torjuntatoimissa on enemmän puutteellisuksia kuin matalaperustaisissa taloissa.
- Vapaasti tuulettuvan radonputkiston vaikutus on huonompi kun perustuksessa on maanvastaisia seiniä, verrattuna matalaperustaiseen ratkaisuun. Putkiston toimintaa tulee normaalisti tehostaa kytkemällä siihen poistopuhallin.
- Tutkimuskohteiden määrä on pieni ja tulosten luottamusvälit ovat suuret.

Tutkimusaineisto osoittaa että rinnetaloissa radonpitoisuuden  $200 \text{ Bq/m}^3$  ylityksiä esiintyy huomattavasti enemmän (22 %) kuin matalaperustaisissa taloissa (11 %), taulukko 14. Radonpitoisuuden keskiarvo on rinnetaloissa noin 50 % korkeampi kuin matalaperustaisissa maanvaraisen laatan taloissa, taulukko 13.

Maanvastaisten harkkorakenteisten seinien radontorjuntatoimet ovat edelleen merkittävä haaste rakentajille. Hyvän tuloksen saavuttaminen edellyttää ohjeiden noudattamista ja laadukasta työtä.

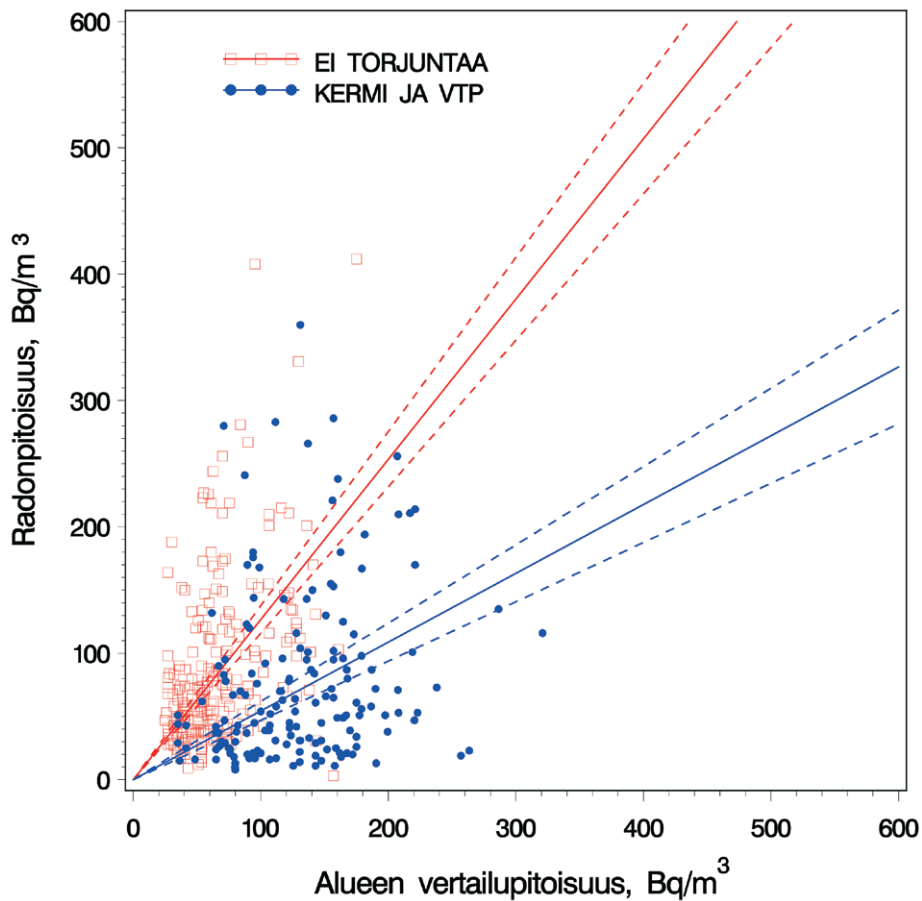
### **Radonimurin vaikutus**

Tutkimusaineistossa oli vain pieni määrä kohteita, joissa oli jo radonputkistoon kytketty toimiva poistopuhallin. Näidenkin kohteiden joukossa asukkaat olivat sekoittaneet muita ilmanvaihdon puhaltimia radonimuriin. Kohteiden pienen määrän ja tiedon epätarkkuuden vuoksi imurin vaikutusta ei kannata arvioida tästä tulosaineistosta. Poistopuhaltimen vaikutusta voidaan parhaiten



tutkia vertailemalla ennen puhaltimen kytkemistä tehtyä mittausta puhaltimen kanssa saatuun radonpitoisuuteen.

Radonputkistoon kytketyn poistopuhaltimen vaikutusta on arvioitu Säteilyturvakeskuksen radonkorjausoppaassa (Arvela ja Reisbacka 2008, 2009). Puhaltimen kytkeminen alentaa radonpitoisuutta tyypillisesti 70 – 90 %. Parhaimmillaan alenema voi olla lähes 100 %. Toisaalta jos laatan ja perustusten alla on erittäin läpäiseviä maa-aineksia, imurin vaikutus voi olla myös puutteellinen.



**Kuva 4.** Tutkimuskohteen radonpitoisuus ja alueen radonpitoisuuden vertailuarvo. Regressiosuorat kohteille, joissa ei ole suoritettu radontorjuntaa ja kohteille joissa on asennettu sekä bitumikermi että vapaasti tuulettuva radonputkisto (VTP) laatan ja sokkelin liitokseen.

**Taulukko 17.** Torjuntatoimien vaikutus radonpitoisuuteen, matalaperustaiset maanvaraisella laattalla varustetut omakotitalot. Mitatuille pitoisuuksille on laskettu suhde Säteilyturvakeskuksen 84 000 pientaloa sisältävän mittaustietokannan antamiin alueellisiin mediaaneihin. Tunnuslukujen selitteet on annettu taulukon alla.

Suure	Toimenpide			
	Ei toimenpiteitä	Kermi ja VTP 1)	VTP 2)	Putkisto, avoin tai suljettu 3)
Lukumäärä	230	166	111	55
Tutkimuskohteen radonpitoisuus, keskiarvo, Bq/m <sup>3</sup>	90	82	98	99
Radonpitoisuus, mediaani, Bq/m <sup>3</sup>	68	53	59	86
Radonpitoisuuden paikkakunta-kohtainen vertailuarvo, mediaani, Bq/m <sup>3</sup>	58	128	106	112
Radonpitoisuuden suhde paikkakuntakohtaiseen vertailuarvoon, mediaani	1,19	0,46	0,56	0,67
Regressiokerroin	1,27	0,54	0,76	0,78
Toimenpiteen radonpitoisuutta alentava vaikutus ja virherajat (95 % luottamusväli), %	0 %	57 % (43 % – 71 %)	41 % (24 % – 58 %)	39 % (20 % – 58 %)

1) Maanvaraisen laatan perustukseen on asennettu ohjeen mukainen bitumikermi ja vapaasti tuulettuva radonputkisto (VTP), poistoputken pää on avonaisena katolla

2) Vain VTP, kermiä ei ole asennettu

3) Asukas on ilmoittanut, että laatan alla on putkisto. Asukas ei tiedä onko poistoputken pää avonaisena katolla.

#### Tunnuslukujen selitteet

- Radonpitoisuuden paikkakunta-kohtainen vertailuarvo: Kullekin mittaukselle on laskettu kyseisen postinumero-alueen sisältämien mittausten mediaani STUKin laajasta radontietokannasta. Mikäli havaintoja postinumero-alueella on alle 10, on käytetty koko kunnan mittausten mediaania.
- Radonpitoisuuden suhde paikkakunta-kohtaiseen vertailuarvoon: Tutkimuskohteessa mitatun radonpitoisuuden suhde paikkakunta-kohtaiseen vertailuarvoon.
- Regressiokerroin: Lineaarisen regressiomallin ( $y = b \cdot x$ ) antama kerroin  $b$ , muuttujina kohteen radonpitoisuus  $y$  ja alueellinen vertailuarvo  $x$ . Vakiotermi on oletettu nolllaksi.
- Toimenpiteen alentava vaikutus on laskettu regressiokertoimien suhteena vertailukohtana ei-toimenpiteitä luokka. Virherarvio on saatu summaamalla regressiokertoimen virhe (2 STD) neliöllisesti ”ei toimenpiteitä”-luokan virheen kanssa.

**Taulukko 18.** Torjuntatoimien vaikutus enimmäisarvon 200 Bq/m<sup>3</sup> ylitysprosentteihin, matalaperustaiset maanvaraisella laataalla varustetut omakotitalot. Havaittuja ylityksiä on verrattu Säteilyturvakeskuksen 84 000 pientaloa sisältävän mittaustietokannan antamiin paikkakuntakohtaisiin vertailutietoihin.

Suure	Toimenpide			
	Ei toimenpiteitä	Kermi ja VTP 1)	VTP 2)	Putkisto, avoin tai suljettu 3)
Lukumäärä	230	166	111	55
Tutkimuskohteen radonpitoisuus, keskiarvo, Bq/m <sup>3</sup>	90	82	98	99
Radonpitoisuus, mediaani, Bq/m <sup>3</sup>	68	53	59	86
200 Bq/m <sup>3</sup> ylitysosuus tässä tutkimuksessa, %	8	8	14	11
200 Bq/m <sup>3</sup> ylitysosuus vertailuaineistossa, %	7	29	26	24
400 Bq/m <sup>3</sup> ylitysosuus tässä tutkimuksessa, %	1,3	1,2	1,8	0
400 Bq/m <sup>3</sup> ylitysosuus vertailuaineistossa, %	1,4	9,7	8,1	7,9

1) Maanvaraisen laatan perustukseen on asennettu ohjeen mukainen bitumikermi ja vapaasti tuulettuva radonputkisto (VTP), poistoputken pää on avonaisena katolla

2) Vain VTP, kermiä ei ole asennettu

3) Asukas on ilmoittanut, että laatan alla on putkisto. Asukas ei tiedä onko poistoputken pää avonaisena katolla.

## 6.9 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus

Ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttaa sisäilman radonpitoisuuteen kahdella merkittävällä tavalla. Ensiksi ilmanvaihtuvuus asunnossa vaikuttaa suoraan ilmassa olevien epäpuhtauksien pitoisuuteen. Toiseksi ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttaa asunnon alipaineisuuteen. Alipaineisuuteen vaikuttaa aina ulko- ja sisälämpötilojen välinen ero. Suomen ilmastossa talon ulkopuolella on normaalisti kylmempää ilmaa kuin sisätiloissa. Näiden ilmamassojen tiheysero aiheuttaa sen että sisätiloissa vallitsee alipaine ulkoilmaan nähden. Kun maaperän huokosilman radonpitoisuus on erittäin korkea, riittää pieni virtaus nostamaan sisäilman radonpitoisuuden satoihin becquereleihin kuutiometrissä. Alipaineen kasvaessa maaperästä tuleva ilmavirtaus myös kasvaa. Alipaineella on siten ratkaiseva merkitys radonpitoisuuden kannalta, jos alapohjarakenteissa on vuotoreittejä maaperän ilmalle.

Jos asunnossa on koneellinen ilmanvaihto, vaikuttaa alipaineisuuteen sekä edellä kuvattu lämpötilaero että koneellisen ilmanvaihdon aiheuttamat ilmavirrat. Koneellista ilmanvaihtoa käytettäessä asunnon alipaineisuus on aina suurempi kuin painovoimaisen ilmanvaihdon talossa. Ilmanvaihtolaite on Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisesti säädettävä siten, että asunto jää alipaineiseksi (Ympäristöministeriö 2010). Ylipaine

asunnossa voi johtaa rakenteiden kosteusvaurioihin. Koneellista poistoilmanvaihtoa käytettäessä alipaineisuus on huomattavasti suurempi kuin koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa käytettäessä. Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä tulo- ja poistoilmavirrat säädetään siten, että asunto jää vain lievästi alipaineiseksi.

Taulukko 19 esittää tyypillisiä alipainetasoja suomalaisissa asunnoissa. Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratorio ja Säteilyturvakeskus tutkivat alipainetasoja Tuusulan asuntomessualueella vuonna 2002 (Airaksinen ym. 2002). Taulukon 19 tulokset ovat tästä tutkimuksesta, joka antaa melko edustavan kuvan suomalaisesta rakentamisesta. Alipaine poistoilmanvaihdon taloissa on tyypillisesti kaksinkertainen (7 – 10 Pa) verrattuna koneellisen tulo- ja poistojärjestelmän taloihin (2 – 5 Pa). Koneellinen poistojärjestelmä on radonpitoisuuden kannalta kaikkein ongelmallisin ratkaisu. Alipaine on korkeimmillaan kun talon rakenteet ovat tiiviit. Nykyvaatimusten mukaan koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetuissa asunnoissa tulee olla myös ulkoilmaventtiilejä. Alipainetta ei pystytä niillä kuitenkaan alentamaan kuin rajallisesti.

**Taulukko 19.** Eri ilmanvaihtojärjestelmillä varustettujen pientalojen tyypillisiä alipainetasoja. Alipainetasot on annettu yksikerroksiselle pientalolle kun ulkolämpötila on 0°C. Asunnon korkeuden kasvaessa ja ulkolämpötilan alentuessa alipaineen painovoimainen osa kasvaa.

Ilmanvaihtojärjestelmä	Asunnon tyypillinen alipainetaso Pa (pascalialia)
Painovoimainen	1 – 2
Koneellinen poisto	7 – 10
Koneellinen tulo- ja poisto	2 – 5

Taulukko 20 esittää suomalaisen pientalon ilmanvaihtojärjestelmien yleisyyttä vuoden 2006 otantatutkimuksen (Mäkeläinen ym. 2009) ja tämän tutkimuksen asukaskyselyjen perusteella. Tulosten perusteella omakotitaloissa on siirrytty jo 80-luvulta alkaen koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon (KTP) käyttöön. 2000-luvun alkuvuosina KTP:n yleisyys oli jo noin 75 % ja vuosien 2006 – 2008 tulosten mukaan 93 %. Rivitaloissa tapahtui erittäin merkittävä KTP:n käytön yleistymisen samana aikana, 45 %:sta 93 %:iin. Tämä johtui vuoden 2004 uusista energiamääräyksistä. Lämmön talteen ottavan tulo- ja poistoilmanvaihdon käyttöönoton kautta rakennusyritykset pystyivät täyttämään uudet vaatimukset.

**Taulukko 20.** Ilmanvaihtojärjestelmien yleisyys omakoti-, rivi- ja paritaloissa eri vuosikymmeninä vuoden 2006 otantatutkimuksen (vuoteen 2005 saakka) ja tämän tutkimuksen (vuodet 2006 – 2008) perusteella. Tiedot perustuvat asukkaiden tarkistamattomiin ilmoituksiin.

Tutkimus ja aikajakso	Ilmanvaihtojärjestelmän yleisyys, %					
	Painovoimainen		Koneellinen poisto		Koneellinen tulo- ja poisto	
	Okt	Rivi- ja paritalot	Okt	Rivi- ja paritalot	Okt	Rivi- ja paritalot
<b>Otantatutkimus 2006</b>						
– 1949	88	68	7	32	6	–
1950 – 1959	93	100	3	–	4	–
1960 – 1969	95	78	3	22	2	–
1970 – 1979	83	74	14	22	4	4
1980 – 1989	42	45	19	43	38	12
1990 – 1999	19	9	29	67	52	24
2000 – 2005	9	4	15	51	76	45
<b>Tämä tutkimus</b>						
2006 – 2008	1	1	6	6	93	93

Siirtyminen KTP-järjestelmään on potentiaalinen tekijä, joka vaikuttaa radonpitoisuuden muutoksiin eri-ikäisissä pientaloissa, luku 7. Radonpitoisuus alenee pientaloissa siirryttäessä vuosien 1980 – 2000 asunnoista vuosien 2000 – 2005 asuntoihin. Tällöin myös KTP yleistyy 20 – 25 prosenttiyksikköä sekä omakotitaloissa että rivitaloissa. Tästä eteenpäin vuosiin 2006 – 2008 mentäessä yleisyys kasvoi omakotitaloissa enää alle 20 prosenttiyksikköä. Rivitaloissa sen sijaan yleisyyden kasvu on noin 50 prosenttiyksikköä. Tapahtunut kasvu korvaa rivitaloissa lähes yksinomaan koneellista poistoilmanvaihtoa. Kun huomioidaan merkittävä ero järjestelmien aiheuttamissa alipainetasoissa (taulukko 19), on todennäköistä että rivi- ja paritalojen osalta siirtyminen KTP:n käyttöön on osaltaan vaikuttanut rivitalojen ja myös koko pientalokannan radonpitoisuuden alenemiseen vertailtaessa vuosia 2000 – 2005 ja 2006 – 2008.

Luvussa 6.8 on tutkittu torjuntatoimien vaikutusta radonpitoisuuteen omakotitaloissa vertaamalla radontorjuntakohteiden radonpitoisuutta niihin kohteisiin, joissa ei ole tehty torjuntatoimia. Molemmissa ryhmissä jo lähes kaikissa asunnoissa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Siten erot ilmanvaihtojärjestelmissä eivät vaikuta saatuihin arvioihin torjuntatoimien vaikutavuudesta.

## 7 Vertailu aikaisempaan asuntokantaan

### 7.1 Radonpitoisuus

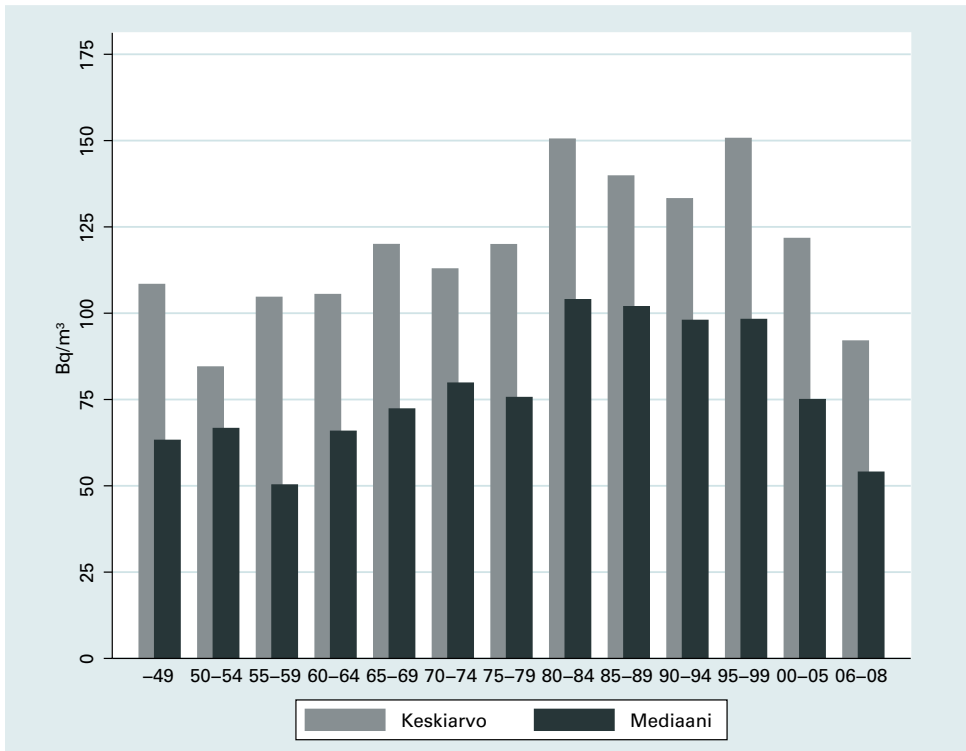
Pientalojen radonpitoisuudet olivat pienimmillään ennen 70-lukua valmistuneissa taloissa. Tällöin vallitsevana perustapana ja talotyyppinä on ollut tuulettuva alapohja ja toisaalta 40- ja 50-luvuilla paljon rakennetut rintamamiestalot. Rintamamiestaloissa oli tavallisesti erillinen kellari, joka osaltaan alentaa asuinkerrosten radonpitoisuutta. 60- ja 70-luvuilla pitoisuudet lähtivät nousuun maanvaraisen laatan käytön yleistymisen myötä. 2000-luvulla pitoisuudet ovat jo kääntyneet laskuun. Kuva 5 esittää vuoden 2006 otantatutkimuksen tuloksia puolen vuosikymmen jaolla valmistumisvuoden mukaan luokiteltuna. Kuvaan on otettu tämän tutkimuksen tulokset mukaan viimeisenä pylväänä. Vuoden 2006 otantatutkimuksessa mitattiin sekä talvi- että kesäajan radonpitoisuus kahdella peräkkäisellä puolen vuoden mittauksella. Vuosikeskiarvotulos (toukokuu 2006 – huhtikuu 2007) on näiden kahden mittauksen keskiarvo, kuva 5.

Vuoden 2006 otantatutkimuksen aikana lämpötila oli poikkeuksellisen korkea, taulukko 21. Uudisrakennustutkimuksen aikana maalishuhtikuussa 2009 keskimääräinen ulkolämpötila (+2.2 °C) oli huomattavasti lähempänä vuoden 2006 tutkimuksen talvimittauksen aikaista lämpötilaa (+0.1 °C) kuin koko vuoden pituisen mittausjakson keskilämpötilaa (+7.3 °C). Tämän johdosta tämän tutkimuksen tuloksia on verrattu myös talvimittauksiin, taulukko 22.

Tässä tutkimuksessa mitattujen vuosina 2006 – 2008 valmistuneiden pientalojen radonpitoisuudet ovat keskimäärin 22 % pienempiä kuin vuoden 2006 tutkimuksen vuosikeskiarvot ja 33 % pienempiä kuin tutkimuksen talvitulokset, taulukko 22. Koska maalishuhtikuun mittausjakso vuonna 2009 oli vain lievästi lämpimämpi kuin otantatutkimuksen talvijakso, talvitulosten arvo on suurempi arvioitaessa radonpitoisuuden muutoksia. Yhteenvetona tuloksista voidaan sanoa että tutkituissa uudisrakennuksissa radonpitoisuudet ovat noin 30 % alempia kuin aikaisemmassa pientalokannassa keskimäärin.

Verrattaessa uudisrakennusten radonpitoisuuksia vuosina 2000 – 2005 valmistuneiden pientalojen radonpitoisuuksiin päädytään samaan 30 % alenemaan. Vuosina 2000 – 2005 valmistuneissa pientaloissa radonpitoisuudet ovat lähes samaa tasoa kuin keskimäärin koko pientalokannassa, kuva 5 ja taulukko 22.

Valtakunnallisen otantatutkimuksen tulosten mukaan radonpitoisuudet ovat laskeneet pientaloissa vuosina 2000 – 2005 valmistuneissa taloissa noin 15 % verrattuna vuosiin 1980 – 1999, jolloin radonpitoisuudet ovat korkeimmillaan. Verrattaessa vuosien 2006 – 2008 pientaloja 1980- ja 1990-lukujen pientaloihin radonpitoisuuden alenema on yli 40 %, taulukko 22.



**Kuva 5.** Pientalojen radonpitoisuus rakennusvuoden mukaan luokiteltuna vuoden 2006 otantatutkimuksen mukaisesti, vuodet 1949 – 2005 (Mäkeläinen ym. 2009). Kuvaan on lisätty tämän tutkimuksen tulokset (vuodet 2006 – 2008) viimeisenä pylväänä.

**Taulukko 21.** Ulkolämpötila vuoden 2007 otantatutkimuksen talvi- ja kesäjaksojen aikana ja koko mittausvuoden aikana sekä tämän tutkimuksen aikana maaliskuu–huhtikuussa 2009 Helsinki–Vantaan lentoasemalla.

Tutkimus ja mittausjakso	Ulkolämpötila , Helsinki-Vantaa
Otantatutkimus 2006 – 2007	
– talvimittaus (marraskuu 2006 – huhtikuu 2007)	+ 0,1 °C
– kesämittaus (toukokuu 2006 – lokakuu 2006)	+14,6 °C
– koko vuosi (toukokuu 2006 – huhtikuu 2007)	+ 7,3 °C
Tämä tutkimus, maaliskuu – huhtikuu 2009 (3.3. – 5.5.2009)	+ 2,2 °C

**Taulukko 22.** Radonpitoisuus vuonna 2006 rakennusluvan saaneissa pientaloissa. Tuloksia on verrattu koko pientalokantaan sekä vuosina 1980 – 1999 ja 2000 – 2005 valmistuneisiin pientaloihin vuoden 2006 otantatutkimuksen tulosten perusteella. Otantatutkimuksen talvimittaus edustaa puolen vuoden kylmintä jaksoa ja vuosikeskiarvo koko vuoden pituista mittausta. Talvimittaus on lämpötilaltaan lähellä tämän tutkimuksen mittausjaksoa maalisi–huhtikuussa 2009.

Aineisto	Radonpitoisuus Bq/m <sup>3</sup>		Radonpitoisuuden alenema vuoden 2009 uudisrakennus- tutkimuksessa verrattuna koko pientalokantaan, otantatutkimus 2006 %	
	Keskiarvo	Mediaani	Keskiarvo	Mediaani
<b>Otantatutkimus 2006, kaikki pientaloasunnot (N=2267) 1)</b>				
– talvimittaus	142	87	33	33
– vuosikeskiarvo	121	75	21	23
<b>Otantatutkimus 2006, vuosina 2000 – 2005 valmistuneet pientalot (N=236) 2)</b>				
– talvimittaus	143	85	34	32
– vuosikeskiarvo	122	75	22	23
<b>Otantatutkimus 2006, vuosina 1980 – 1999 valmistuneet pientalot (N=863) 2)</b>				
– talvimittaus	171	117	44	50
– vuosikeskiarvo	143	101	34	43
<b>Tämä tutkimus maalisi–huhtikuu 2009 (N=1561)</b>	<b>95</b>	<b>58</b>		

1) Maakuntien asukasmäärillä painotettu keskiarvo ja mediaani

2) Painottamattomat tunnusluvut

Torjuntatoimien lisäksi radonpitoisuutta on alentanut tuulettuvan alapohjan yleistynyt käyttö. Yleistymisessä ei kuitenkaan ole tapahtunut merkittävää muutosta enää 2000 luvulla. Vuoden 2006 rakennusluvan saaneista omakotitaloissa 17 %:ssa oli tuulettuva alapohja. Myös siirtyminen koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon, erityisesti rivitalorakentamisessa, on radonpitoisuuksia alentava tekijä. Tämän tutkimuksen perusteella kuitenkin radontorjuntatoimien yleistyminen on merkittävin radonpitoisuuksia alentava tekijä 2000-luvulla.

Radonpitoisuuden pieneneminen 2000-luvulla näkyy myös Säteilyturvakeskuksen radontietokannan 84 000 pientalon tuloksissa (Valmari ym. 2010). Pieneneminen on voimakkainta korkeimman radonpitoisuuden alueilla. Säteilyturvakeskus on toteuttanut vuodesta 2003 alkaen radontalkoita yhteistyössä kuntien kanssa. Talkoissa on keväeseen 2010 mennessä mitattu jo yli



30 000 asunnon radonpitoisuus. Talkooalueiden tulokset osoittavat myös radonpitoisuuden pienenemisen 2000-luvulla (Arvela ym. 2008).

## **7.2 Torjuntatoimien suorittaminen**

Vuoden 2006 otantatutkimuksen (Mäkeläinen ym. 2009) perusteella Hämeen ja Kaakkois-Suomen alueella radonputkisto oli asennettu noin 64 %:iin vuosina 1996 – 2005 valmistuneista matalaperustaisista maanvaraiselle laatalle rakennetuista pientaloista. Koko maassa vastaava luku oli 24 %. Perustusrakenteiden tiivistäminen, joka on tärkeä osa radontorjuntaa, ei kuitenkaan ollut yleistynyt vuoden 2006 tutkimuksen tuloksissa yhtä hyvin.

Tässä tutkimuksessa asukkaiden ilmoittamien tietojen perusteella noin puolessa omakotitaloista oli suoritettu uudisrakentamisen radontorjunnan ohjeiden edellyttämiä toimenpiteitä. Korkeimman radonpitoisuuden maakunnissa torjuntatoimia oli tehty noin 90 %:ssa omakotitaloista ja muualla Suomessa 30 – 40 %:ssa. Valtakunnallisesti vuosien 2003 – 2004 säännösuudistukset ja kuntien uudistuneet vaatimukset ovat kaksinkertaistaneet torjuntatoimien suorittamisaktiivisuuden.

Uudisrakentamisen ohjeistuksen uudistuessa vuonna 2003 merkittävin muutos koski tiivistämistyön käytännön toteutusta. Uuden ohjeistuksen mukainen bitumikerman käyttö on voimakkaasti yleistynyt ja tiivistystöiden suorittamisaktiivisuus on noussut jo yli 40 %:iin.

## 8 Kokeellisia tutkimuksia

Tässä luvussa on tarkasteltu lyhyesti radonputkiston toimintaan ja tiivistämiseen liittyviä tutkimuksia. Tutkimukset eivät kuuluneet tässä raportissa esitetyn otantatutkimuksen ohjelmaan. Tulokset auttavat kuitenkin arvioimaan otantatutkimuksen tuloksia.

### 8.1 Passiivisen putkiston kokeelliset tutkimukset

Tässä raportissa esitetyn uudisrakennusten otantatutkimuksen ohessa Säteilyturvakeskus suoritti vuonna 2009 pilottitutkimuksia vapaasti tuuletuvan radonputkiston vaikutuksesta radonpitoisuuteen. Tutkimuskohteissa oli lattialaatan alle asennettu ohjeiden mukainen radonputkisto ja poistohormi. Poistohormi oli avoimena talon katolla. Tutkimuksen aikana asunnossa oli jatkuvasti rekisteröivä radonmittari, joka tallentaa radonpitoisuuden kerran tunnissa. Asukkaan kanssa sovittiin tutkimusohjelmasta. Asukas sulki ja avasi katolla olevan radonputkiston poistohormin 2 – 4 vuorokauden jaksoissa.

Kuva 6 esittää tuloksia kolmessa tutkimuskohteessa. Radonpitoisuuden kasvu asunnoissa tapahtuu, kun poistohormi suljetaan ja ilmapirtaus putkistossa estyy. Kuvassa mitattujen muutosten perusteella radonpitoisuus kohteissa alenee 30 – 50 % kun poistohormi avataan. Kohteessa 1 on betoni-rakenteiset seinät, jotka kasvattavat radonpitoisuutta arviolta 20 – 40 Bq/m<sup>3</sup>. Radonputkiston aiheuttamat muutokset maaperän huokosilman aiheuttaman radonpitoisuuden muutoksiin ovat suurempia kuin kuvan tuloksista voidaan suoraan arvioida.

Kuvan 6 kohteissa mittauksia toistettiin kesäaikana. Myös kesämitauksissa putkiston avaamisella oli merkittävä vaikutus. Sekä maaperän ja ulkoilman välinen lämpötilaero että tuuli vaikuttavat putkistossa syntyvään virtaukseen. Tutkimus jatkuu ja myös kuvan 6 kohteiden tuloksia arvioidaan myöhemmin tarkemmin.

Tässä kuvattujen kolmen kohteen tulokset ovat samansuuntaisia kuin torjuntatoimien vaikuttavuudesta tehdyt arviot luvussa 6.8.

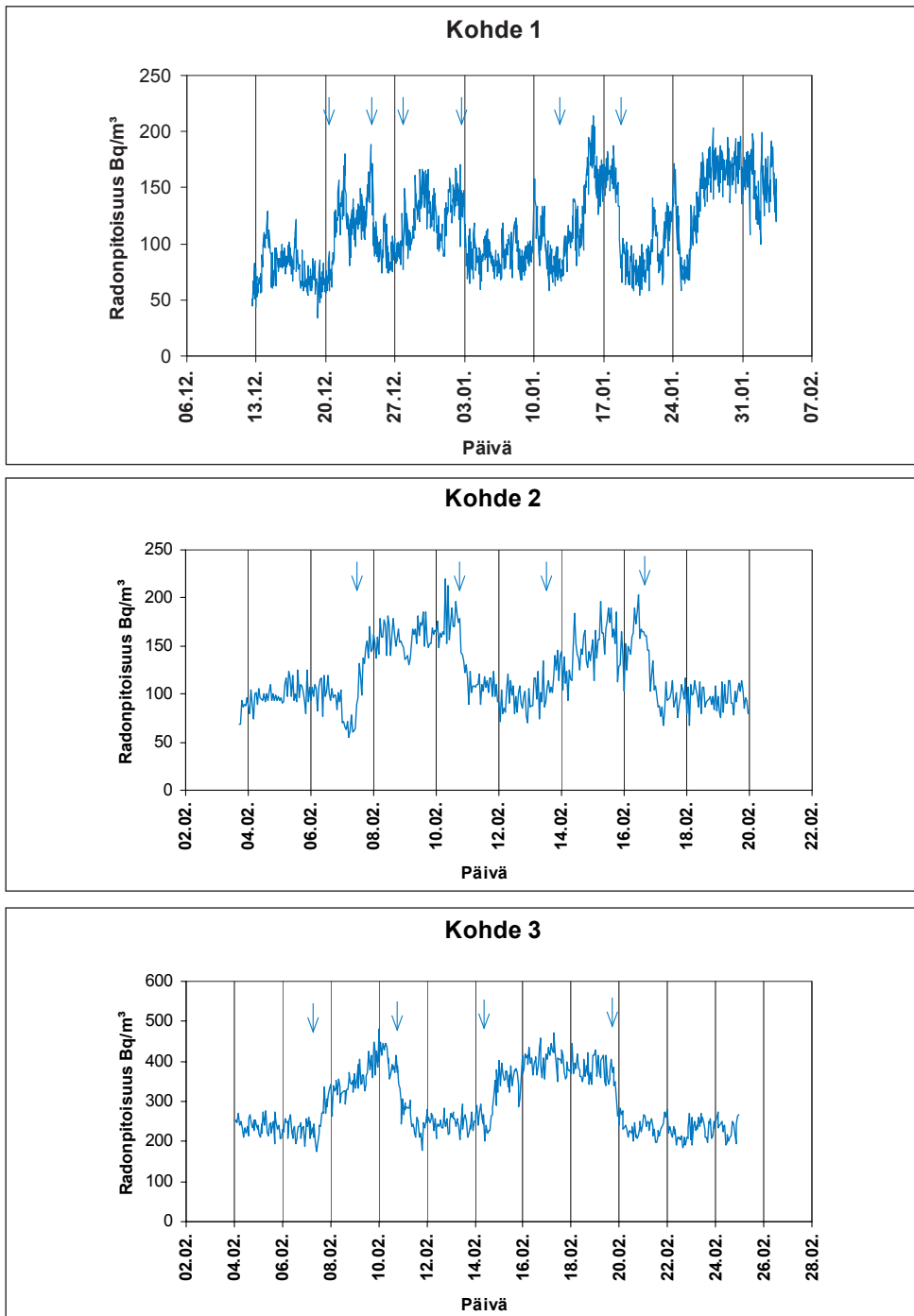
### 8.2 Vuototutkimukset

Säteilyturvakeskus suoritti vuosina 2007 – 2008 vuototutkimuksia, joilla haluttiin selvittää radontorjuntaohjeen (RT ohjekortti 81-10791, Rakennustieto 2003) mukaisten tiivistämistöiden onnistumista (Keränen ja Arvela 2008). Näissä tutkimuksissa rakennuksen alapohjan tiiviyyttä tutkittiin vuotomittauksilla. Lattialaatan alle johdettiin radonputkiston poistohormin kautta merkkiaine-

kaasua (5 % vetyä ja 95 % typpeä). Vuotokohtia tutkittiin sisätiloissa erityisesti vetykaasulle tehdyllä vuodonilmaisimella. Menetelmä on erittäin herkkä ja se havaitsee myös vuotoja, joilla ei ole suurta merkitystä sisäilman radonpitoisuuteen. Tämä vaikeutti myös tulosten arviointia. Merkittävien ja ei-merkittävien vuotojen erottaminen oli useasti vain suuntaa antavaa.

Tutkimuksissa vakavimmat vuodot löytyivät sokkelin ja lattiaalatan liitoksesta kohteissa, joissa tiivistystöitä ei oltu tehty lainkaan. Samoin vakavia vuotoja löytyi säännönmukaisesti läpivienneistä, joiden tiivistämistä ei oltu suoritettu. Bitumikerman suorilla ja saumattomilla osuuksilla ei vuotoja normaalisti havaittu. Rakennuksen kulmissa havaittiin vuotoja, jotka johtuivat puutteista nurkkaliitoksen toteutuksessa tai kermiliitosten saumaamisessa, katso liite 6, kuva 3. Puutteet liitosten saumaamisessa eivät välttämättä ole merkittäviä.

Sekä tässä luvussa kuvattujen vuototutkimusten että uudisrakentamistutkimuksen asukaskyselyjen tulokset (Liite 5) korostavat läpivientien tiivistämisen tärkeyttä. Liitteen 5 kyselytietojen perusteella kaikista matalaperustaisista pientaloista 40 % ilmoitti bitumikerman käytöstä mutta vain 23 % ilmoitti läpivientien tiivistämistoimien suorittamisesta. Säteilyturvakeskuksen internetsivuilla on vuodesta 2007 alkaen ylläpidetty radontorjunnan toteutusta täydentäviä ohjeita, liite 7. Näissä ohjeissa on korostettu tiivistämistoimien tärkeyttä.



**Kuva 6.** Vapaasti tuulettuvan radonputkiston vaikutus asunnon radonpitoisuuteen. Mittauksia kolmessa tutkimuskohteessa vuonna 2009. Putkiston sulkemis- ja avaamisajankohdat on merkattu kuvaan nuolilla.

## 9 Johtopäätökset

Rakentamismääräykset ja uudisrakentamisen radontorjunnan käytännön ohjeistus uudistuivat Suomessa vuosina 2003 – 2004. Tämän otantatutkimuksen perusteella torjuntatoimien yleistyminen ja toimenpiteiden tehostuminen ovat alentaneet merkittävästi uusien pientalojen radonpitoisuuksia.

Tulosten perusteella radonpitoisuudet olivat vuosina 2006 – 2008 valmistuneissa pientaloissa noin 30 % pienempiä kuin Säteilyturvakeskuksen aikaisemman otantatutkimuksen perusteella Suomen pientaloissa keskimäärin. Alenema oli korkean radonpitoisuuden maakunnissa 50 % ja muualla maassa 20 %. Alenema on lähes yhtä suuri verrattaessa radonpitoisuuksiin vuosina 2000 – 2005 valmistuneissa pientaloissa. Alenema vuosina 1980 – 1999 valmistuneisiin pientaloihin nähden on yli 40 %.

Asukkaiden ilmoittamien tietojen perusteella noin puolessa omakotitaloista oli suoritettu uudisrakentamisen radontorjunnan ohjeiden edellyttämiä toimenpiteitä. Korkeimman radonpitoisuuden maakunnissa torjuntatoimia oli tehty noin 90 %:ssa omakotitaloista ja muualla Suomessa 30 – 40 %:ssa. Valtakunnallisesti vuosien 2003 – 2004 säännösuudistukset ja kuntien uudistuneet vaatimukset ovat kaksinkertaistaneet torjuntatoimien suorittamisaktiivisuuden.

Torjuntatoimet alensivat omakotitaloissa radonpitoisuutta keskimäärin 50 % verrattuna niihin tämän tutkimuksen pientaloihin, joissa torjuntatoimia ei suoritettu. Parhaat tulokset saavutettiin niissä matalaperustaisissa maanvaraisen laatan omakotitaloissa, joihin oli asennettu vapaasti tuulettuva radonputkisto sekä sokkelin ja lattialaatan liitoksen tiivistävä bitumikermi. Myös pelkän vapaasti tuulettuvan putkiston asentaminen alensi radonpitoisuutta merkittävästi, keskimäärin 40 %. Putkiston vaikuttavuuteen liittyvät kokeelliset tutkimukset ovat antaneet samansuuntaisia tuloksia. Torjuntatoimien vaikutus näkyy selkeästi myös enimmäisarvon 200 Bq/m<sup>3</sup> ylityksissä. Torjuntaa suorittaneissa kohteissa esiintyi enimmäisarvon 200 Bq/m<sup>3</sup> ylityksiä vain 8 %, kun samojen kohteiden paikkakuntaakohtaisissa vertailuarvoissa ylitysosuus oli keskimäärin 29 %.

Maakuntakohtaiset radonpitoisuudesta ja torjuntatoimien suorittamisaktiivisuudesta saadut tulokset vahvistavat toisiaan. Radonpitoisuuden aleneminen on ollut voimakkainta alueilla, joilla torjuntatoimia on tehty eniten.

Torjuntatoimien vaikuttavuudesta saaduissa tuloksissa on vertailumenetelmään ja kyselytietojen puutteellisuuteen liittyvää epätarkkuutta. Arvioidut alenemat todennäköisesti kasvaisivat jos asukkaan tietojen puutteellisuudesta johtuvat virheet korjattaisiin. Huomionarvoista on myös, että torjuntatoimissa on puutteellisuutta. Esimerkiksi rakennuspohjan läpivientien tiivistäminen ei

ollut kovin yleistä. Rakennusyritysten kokemuksen kasvaessa on odotettavissa edelleen paranevia tuloksia.

Vapaasti tuulettuvan radonputkiston tehokkuuteen vaikuttaa laatan alla olevan sora- tai murskeaineen ilmanläpäisevyys. Läpäisevä aine edistää putkiston aiheuttaman ilmavirtauksen leviämistä laatan alle ja ympäröivään perusmaahan. Täyttöaineiksista ei ole tässä tutkimuksessa mitään kohdekoh-taista tietoa. Sen sijaan on tiedossa, että 2000-luvulla on siirrytty voimak-kaasti karkeiden murskattujen kiviainesten käyttöön, koska soran saatavuus on vaikeutunut. Toisaalta karkeat täyttöaineet edistävät maaperän radonpi-toisen ilman siirtymistä sisätiloihin, liite 9. Tämä voi osaltaan selittää radonpi-toisuuden kasvua niillä alueilla, joilla torjuntatoimia ei ole suoritettu.

Torjuntatoimien lisäksi radonpitoisuutta on alentanut tuulettuvan alapohjan yleistynyt käyttö. Yleistymisessä ei kuitenkaan ole tapahtunut merkittävää muutosta enää 2000 luvulla. Vuoden 2006 rakennuslupan saaneista omakotitaloissa 17 %:ssa oli tuulettuva alapohja. Myös siirtyminen koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon, erityisesti rivitalorakentamisessa, on radonpitoi-suuksia alentava tekijä. Tämän tutkimuksen perusteella kuitenkin radontor-juntatoimien yleistyminen on merkittävin radonpitoisuuksia alentava tekijä 2000-luvulla.

Tutkimustulokset osoittavat että radontorjuntatyössä on suuria alueel-lisia eroja. Erot kuvaavat myös kuntien rakennuslupakäsittelyyn liittyviä radontorjuntavaatimuksia. Torjuntatoimia on vaadittu korkeimman radon-pitoisuuden alueilla. Tämä näkyy merkittävänä radonpitoisuuden alenemi-sena. Niillä alueilla joilla torjuntatoimia ei ole suoritettu radonpitoisuudet ovat ennallaan tai jopa kasvussa. Uudisrakentamisen radontorjuntatoimet ovat hinnaltaan edullisia ja niillä on myös kosteusteknisesti edullisia vaiku-tuksia. Ne vähentävät myös mahdollisten muiden haitallisten aineiden pääsyä maaperästä sisätiloihin. Jo vapaasti tuulettuvan radonputkiston vaikutukset ovat niin merkittäviä, että putkiston asentaminen on suositeltavaa koko maassa. Rakennuttajan kannattaa vaatia suunnittelijalta ja kaikilta hank-keeseen osallistuvilta radontorjunnan toteutusta voimassa olevan ohjeis-tuksen mukaisesti.

Radontorjunnan ohjeistuksessa on puutteita, jotka tulee korjata sitä uudistettaessa. Ohje ei esimerkiksi kyllin yksikäsitteisesti vaadi poistohormin viemistä vesikaton yläpuolelle jo rakennusvaiheessa. Vapaasti tuulettuvan putkiston käyttö on aina suositeltavaa tämän tutkimuksen tulosten perusteella. Maanvastaisten seinien ja läpivientien tiivistämistyön tärkeyttä tulee ohjeessa korostaa nykyistä enemmän. Säteilyturvakeskus on julkaissut internetsivuil-laan radontorjunnan täydentäviä ohjeita, joissa on huomioitu ohjeistuksen puut-teita, liite 7.

Tämän raportin tulokset antavat vahvan näytön siitä, että uudisrakentamisen ohjeistuksen mukaiset toimet ovat alentaneet vuonna 2006 rakennusluvan saaneiden pientalojen radonpitoisuuksia kymmeniä prosentteja verrattuna aikaisempaa pientalokantaan. Radonpitoisuuden aleneminen on ollut voimakkainta siellä missä torjuntatoimia on aktiivisesti suoritettu. Niissä osissa maata, jossa torjuntatoimia ei ole suoritettu, radonpitoisuudet ovat ennallaan tai jopa kasvussa.

Tulosten perusteella radontorjuntatoimien vaatiminen rakennuslupakäytännön yhteydessä sekä toimenpiteiden laajamittainen ja huolellinen toteuttaminen koko maassa voi vähentää radonpitoisuuksia yli 50 % verrattuna nykyisen pientalokannan tilanteeseen. Tällä on merkittävä suomalaisten radonaltistusta ja radonin terveyshaittoja pienentävä vaikutus tulevana vuosikymmeninä.

## Kirjallisuusviitteet

Airaksinen M, Arvela H, Jokiranta K. Ilmanvaihto- ja radontutkimukset Tuusulan asuntomessualueella. Raportti B73. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio, B; 2002. s. 1 – 31.

Arvela H. Residential Radon in Finland: Sources, Variation, Modelling and Dose Comparisons. STUK-A124. Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK); 1995.

Arvela H, Bergman J, Yrjölä R, Kurnitski J, Jokiranta K, Matilainen M, Järvinen P. Radon-safe foundation, moisture prevention and air exchange in a healthy building. SYTTY Results. Publications of The Finnish Research Programme on Environmental Health – SYTTY 1/2002. Kuopio: 2002. p. 53 – 57.

Arvela H ja Reisbacka H. Asuntojen radonkorjaaminen. STUK-A229. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2008. s. 1 – 131.

Arvela H, Valmari T, Reisbacka H, Niemelä H, Oinas T, Mäkeläinen I. Radon-talkoot – Tilannekatsaus 2008. STUK-A233. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2008.

Arvela H ja Reisbacka H. Radonsanering av bostäder. STUK-A237. Helsingfors: Strålsäkerhetscentralen; 2009. s. 1 – 132.

Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. British Medical Journal 2005; 330: 23 – 227.

Darby S, Hill D, Deo H, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H et al. Residential radon and lung cancer – detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health 2006; 32 Suppl 1: 1 – 84.

Keränen P ja Arvela H. Radonturvallinen rakentaminen 2007. Sisäilmasto-seminaari 2008. Kirjassa: SIY Raportti 26. Espoo: Sisäilmayhdistys ry; 2008. s. 143 – 148.

Lääkintöhallituksen ohjekirje nro 2/1986. Terveystieteiden tutkimuskeskuksen (55/67) nojalla annetut huoneilman radonia koskevat ohjeet. Helsinki: Painatuskeskus Oy; 1986.



Mäkeläinen, I, Kinnunen, T, Reisbacka H, Valmari, T, Arvela, H. Radon suomalaisissa asunnoissa – Otantatutkimus 2006. STUK-A242. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2009.

Rakennustieto Oy. Radonin torjunta. RT ohjekortti RT 81-10791, LVI 37-10357, 2003.

Ravea T, Arvela H. Radonturvallinen rakentaminen Suomessa. STUK-A137. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1997. s. 1 – 45.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös asuntojen huoneilman radonpitoisuuden enimmäisarvoista. n:o 944, 1992.

Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1.

Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumisterveysopas. Ympäristö ja terveys -lehti 2008, 2. korjattu painos.

Valmari T, Mäkeläinen I, Reisbacka H, Arvela H. Suomen radonkartasto 2010 – Radonatlas över Finland 2010 – Radon Atlas of Finland 2010. STUK-A245. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2010.

Voutilainen A, Vesterbacka K, Arvela H. Radonturvallinen rakentaminen – kysely kuntien viranomaisille. STUK-A160. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1998. s. 1 – 42.

Ympäristöministeriö. Radonin torjuminen pien- ja rivitaloissa. Maanvastaisten rakenteiden radontekninen suunnittelu. Opas 2 1993. Helsinki: Painatuskeskus Oy; 1994. s. 1 – 32.

Ympäristöministeriö. Pohjarakenteet, Määräykset ja ohjeet. 2004. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa B3.

Ympäristöministeriö. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2.

## **Liitteet**

- |                 |  |
|-----------------|--|
| <b>LIITE 1</b>  | <b>KUTSUKIRJE TUTKIMUKSEEN VALITTUJEN<br/>PIENTALOJEN ASUKKAILLE</b>   |
| <b>LIITE 2</b>  | <b>RADONMITTAUKSEN KYSELYLOMAKE</b>  |
| <b>LIITE 3</b>  | <b>RADONTORJUNTAAN LIITTYVÄ LISÄKYSELYLOMAKE</b>   |
| <b>LIITE 4</b>  | <b>PÄÄLOMAKKEEN TÄYTTÖTIEDOT</b>   |
| <b>LIITE 5</b>  | <b>RADONTORJUNTAAN LIITTYVÄN<br/>LISÄLOMAKKEEN TÄYTTÖTIEDOT</b>  |
| <b>LIITE 6</b>  | <b>UUDISRAKENTAMISEN RADONTORJUNNAN OHJEISTUS</b>  |
| <b>LIITE 7</b>  | <b>RADONTORJUNNAN TÄYDENTÄVIÄ OHJEITA</b>  |
| <b>LIITE 8</b>  | <b>SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA, osa B3,<br/>POHJARAKENTEET, YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2004,<br/>OTTEITA RADONIIN LIITTYVISTÄ MÄÄRÄYKSISTÄ</b> |
| <b>LIITE 9</b>  | <b>ASUNNON RADONPITOISUUDEN LASKENTA JA<br/>MALLINTAMINEN</b>  |
| <b>LIITE 10</b> | <b>SUOMEN MAAKUNNAT</b>  |



SÄTEILYTURVAKESKUS

Tutkimus ja ympäristövalvonta, Radonturvallisuus

10.2.2009

Arvoisa vastaanottaja

**TUTKIMUS UUSIEN PIENTALOJEN SISÄILMAN RADONISTA****Tarjoamme ilmaista radonmittausta asunnossanne**

Teidät on valittu mukaan Säteilyturvakeskuksen tutkimukseen, jossa selvitetään sisäilman radonpitoisuutta. Tutkimukseen on valittu yhteensä 3000 pien- ja rivitaloa, joille on myönnetty rakennuslupa vuonna 2006. Kirjeen vastaanottajaksi on valittu huoneiston vanhin asukas.

**Mitä radon on?**

Radon on hajuton ja näkymätön radioaktiivinen kaasu. Radonpitoisuutta kasvattaa eniten maaperän radonpitoinen ilma, jota virtaa sisätiloihin. Radonille altistuminen lisää riskiä sairastua keuhkosyöpään. Tarkempia tietoja on internetissä osoitteessa [www.stuk.fi/radon](http://www.stuk.fi/radon).

**Mitä tutkimus merkitsee käytännössä?**

Jos päätätte osallistua tutkimukseen, lähetämme kotinne helmikuussa pienen radonmittauspurkin. Purkkia pidetään kahden kuukauden ajan asuinhuoneessa, esimerkiksi makuu- tai olohuoneessa. Sen jälkeen purkki palautetaan Säteilyturvakeskukseen postittamassamme palautuskuoreessa. Kun mittauspurkki on analysoitu, lähetämme teille tiedon asuntonne radonpitoisuudesta. Mittauspurkin mukana toimitamme teille myös lomakkeen, jossa kysytään perustietoja talon perustuksesta ja radontorjunnasta.

Osallistumalla tähän tutkimukseen saatte mittauksen ilmaiseksi. Säteilyturvakeskuksesta tilattuna mittauksen hinta olisi 42 €. Mittaustuloksia käsitellään luottamuksellisesti, eikä niitä luovuteta sivulislille. Tulokset julkaistaan yhteenvetoraporttina, josta teidän asuntoanne ei voida tunnistaa.

**Uuden asunnon radonpitoisuus kannattaa aina mitata**

Sosiaali- ja terveysministeriön ja Suomen rakentamismääräysten mukaisesti uudet asunnot tulee suunnitella ja rakentaa siten, että sisäilman radonpitoisuus on alle 200 Bq/m<sup>3</sup> (becquereliä kuutiometristä). Uusiin asuntoihin asennetaan yleisesti radonputkisto maanvaraisen lattialaatan alle. Mikäli enimmäisarvo ylittyy, voidaan putkistoon kytkeä huippuimuri, joka alentaa tehokkaasti radonpitoisuutta. Jos talossanne tarvitaan lisätoimenpiteitä, ne on syytä esittää tehtäväksi takuukorjausten yhteydessä. Tarjoamamme mittaus auttaa teitä arvioimaan asuntonne radontorjuntatilannetta.

**Miten toimia?**

Jos haluatte osallistua tutkimukseen, palauttakaa oheinen lomake Säteilyturvakeskukseen mahdollisimman pian, mieluiten viikon sisällä sen saapumisesta. Postimaksu on maksettu.

Toivomme teidän osallistuvan tutkimukseen, vaikka asuntonne radonpitoisuus olisi jo mitattu. Mittausta ei voida siirtää toiseen kiinteistöön, jos olette muuttaneet.

Lisätietoja antavat tutkimusassistentti Tiina Oinas, puh 09 7598 8463 ja tutkija Heikki Reisbacka, puh 09 7598 8465. Kysymyksiä voi lähettää myös sähköpostiosoitteeseen **Radontutkimus@stuk.fi**.

Laboratorionjohtaja

Hannu Arvela

Osoitelähde: Väestötietojärjestelmä, Väestörekisterikeskus, PL 70, 00581 HELSINKI



PL 14, 00881 HELSINKI  
Puh. (09) 759881

## HUONEILMAN RADONMITTAUS

**Pyydämme täyttämään oheisen lomakkeen tekstaamalla. Muistakaa mittauksen aloitus- ja lopetuspäivämäärä, jotka ovat välttämättömiä radonpitoisuuden laskemiseksi.**

<b>Etunimi</b> <input type="text"/>		<b>1. purkin sijainti asunnossa.</b> Valitkaa 0, jos kerros on kokonaan tai osittain maantason alapuolella (esim. kellarit tai rinnetalon alin kerros). <table border="1"> <tr> <th>Huone</th> <th>Kerros</th> <th>1. purkin numero</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Olohuone</td> <td>0</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Makuuhuone</td> <td>1</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Muu, mikä</td> <td>2</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td><input type="text"/></td> </tr> </table>		Huone	Kerros	1. purkin numero	<input type="checkbox"/> Olohuone	0	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Makuuhuone	1	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Muu, mikä	2	<input type="text"/>		3	<input type="text"/>	<b>STUK täyttää</b> <input type="text"/> <input type="text"/>
Huone	Kerros	1. purkin numero																	
<input type="checkbox"/> Olohuone	0	<input type="text"/>																	
<input type="checkbox"/> Makuuhuone	1	<input type="text"/>																	
<input type="checkbox"/> Muu, mikä	2	<input type="text"/>																	
	3	<input type="text"/>																	
<b>Sukunimi</b> <input type="text"/>		<b>2. purkin sijainti asunnossa.</b> <table border="1"> <tr> <th>Huone</th> <th>Kerros</th> <th>2. purkin numero</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Olohuone</td> <td>0</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Makuuhuone</td> <td>1</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Muu, mikä</td> <td>2</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td><input type="text"/></td> </tr> </table>		Huone	Kerros	2. purkin numero	<input type="checkbox"/> Olohuone	0	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Makuuhuone	1	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Muu, mikä	2	<input type="text"/>		3	<input type="text"/>	
Huone	Kerros	2. purkin numero																	
<input type="checkbox"/> Olohuone	0	<input type="text"/>																	
<input type="checkbox"/> Makuuhuone	1	<input type="text"/>																	
<input type="checkbox"/> Muu, mikä	2	<input type="text"/>																	
	3	<input type="text"/>																	
<b>Puhelinnumero</b> <input type="text"/> - <input type="text"/>		<b>Aloituspäivämäärä (pp.kk.vv)</b> <input type="text"/> . <input type="text"/> . <input type="text"/>		<input type="text"/>															
<b>Mittauspaikan osoite</b> <input type="text"/>		<b>Lopetuspäivämäärä (pp.kk.vv)</b> <input type="text"/> . <input type="text"/> . <input type="text"/>		<input type="text"/>															
<b>Postinumero</b> <input type="text"/>	<b>Postitoimipaikka</b> <input type="text"/>																		
<b>Kunta</b> <input type="text"/>																			

**Pyydämme Teitä ystävällisesti vastaamaan myös seuraaviin kysymyksiin. STUK käyttää tietoja radonin esiintymistä ja torjuntaa koskeviin tutkimuksiin. Vastaaminen on vapaaehtoista. Voitte jättää vastaamatta kysymyksiin, joihin ette tiedä vastausta.**

<b>Onko tämä ensimmäinen radonmittaus asunnossanne?</b> <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei Aiemman mittauspurkin numero tai mittauksen ajankohta, jos tiedossa <input type="text"/>		<b>RAKENNUSVAIHEEN RADONTORJUNTA</b> <b>Tiivistämistoimet maanvastaisissa rakenteissa</b> <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> En tiedä <input type="checkbox"/> Sokkelin ja lattialaatan liitoksen tiivistäminen <input type="checkbox"/> kumibitumikermillä <input type="checkbox"/> elastisella saumausaineella <input type="checkbox"/> muulla, millä? <input type="text"/>	
<b>Onko asunto ollut asuinkäytössä mittauksen aikana?</b> <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei (esim. tyhjillään) <b>Oliko 1. purkki sijoitettu asuintiloihin?</b> <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei (esim. kellarin) <b>Oliko 2. purkki sijoitettu asuintiloihin?</b> <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei (esim. kellarin)		<input type="checkbox"/> Putkien ja kaapeleiden läpivientien tiivistäminen maanvastaisissa ja alapohjarakenteissa <input type="checkbox"/> Maanvastaisten harkkoseinien tiivistäminen <input type="checkbox"/> kumibitumikermillä <input type="checkbox"/> ohutrappaamalla <input type="checkbox"/> Harkkosokkelin sisäpuolen tiivistäminen ohutrappaamalla <input type="checkbox"/> Muu toimenpide, mikä? <input type="text"/>	
<b>Talotyyppi</b> <input type="checkbox"/> Omakotitalo <input type="checkbox"/> Paritalo <input type="checkbox"/> Rivitalo <input type="checkbox"/> Kerrostalo <input type="checkbox"/> Luhtitalo <input type="checkbox"/> Muu, mikä <input type="text"/>		<b>Asunnon käyttö</b> <input type="checkbox"/> Vakituinen <input type="checkbox"/> Vapaa-ajan asunto <b>Valmistusvuosi</b> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <b>Asuinpinta-ala, m<sup>2</sup></b> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
<b>Onko talo perustettu kalliolle?</b> <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Kalliota louhittu		<b>Asennettiinkö lattialaatan alle rakennusvaiheessa radonputkisto?</b> <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Kyllä. Putkistoon ei ole kytketty poistopuhallinta (tai puhallin ei ole ollut mittauksen aikana päällä). Putkiston poistokanavan pää on <input type="checkbox"/> tulpattu ilmatiiviisti. <input type="checkbox"/> avonaisena ulkona. <input type="checkbox"/> Kyllä. Putkisto on otettu käyttöön kytkemällä siihen poistopuhallin. Puhallin on ollut päällä mittauksen aikana.	
<b>Saadaanko talousvesi porakaivosta?</b> <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Kyllä		<b>RADONKORJAUSTOIMENPITEET</b> (rakennuksen valmistamisen jälkeen) <input type="checkbox"/> Ei toimenpiteitä <input type="checkbox"/> Asennettu radonimuri (imu lattialaatan alta) * <input type="checkbox"/> Tehty radonkaivo talon ulkopuolelle * <input type="checkbox"/> Rakenteita tiivistetty (esim. lattialaatan ja seinän välistä rakoa tai lattialaatan läpivientejä) <input type="checkbox"/> Tehty ilmanvaihtotoimenpiteitä <input type="checkbox"/> Ryömintätilan tuuletusta tehostettu <input type="checkbox"/> Muu, mikä? <input type="text"/>	
<b>Kantavien rakenteiden pääasiallinen rakennusmateriaali (usein eri kuin julkisivumateriaali) (vain yksi rasti)</b> <input type="checkbox"/> Puu <input type="checkbox"/> Kevytbetoni <input type="checkbox"/> Tiili <input type="checkbox"/> En tiedä <input type="checkbox"/> Betoni <input type="checkbox"/> Muu, mikä <input type="text"/>		* Ilmoittakaa vain, jos poistopuhallin on ollut mittauksen aikana päällä.	
<b>Ilmanvaihto</b> <input type="checkbox"/> Painovoimainen eli luonnollinen <input type="checkbox"/> Koneellinen poistoilmanvaihto <input type="checkbox"/> Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto			

6427522570

08\_11

**KÄÄNNÄ**



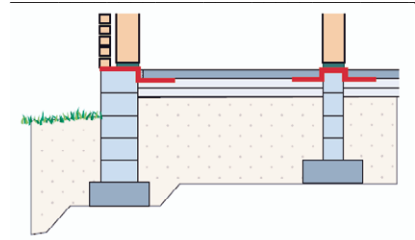
**LISÄLOMAKE****Uusien pientalojen radontutkimus 2009****Radontorjuntatoimet uudisrakentamisessa**

Tällä lomakkeella kysytään radonmittauksen peruslomaketta täydentäviä tietoja uudisrakentamisen radontorjuntatoimista pientaloasunnossanne.

Jos kysymys on vaikea, pyydämme tarpeen mukaan valitsemaan vastauksen: **En tiedä**

Voit halutessasi kirjoittaa selventäviä **lisätietoja ja kokemuksia radontorjunnasta** kääntöpuolelle.

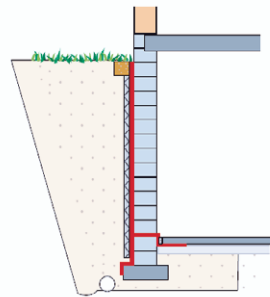
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	<b>Tiivistämistyöt, matalaperustaiset talot</b>  Sokkelin ja laatan liitoskohta on tiivistetty kumibitumikermillä, kuvat 1 ja 2.
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	<b>Valubetonisokkelin ja laatan liitoskohta</b> on tiivistetty elastisella sauma-aineella.
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	Putkien ja kaapelien läpiviennit on tiivistetty maanvastaisissa alapohjarakenteissa.
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	<b>Tiivistämistyöt, kellari- ja rinnetalot</b>  Maanvastainen harkkoseinä on ohutrapattu sisäpuolelta.
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	Maanvastainen harkkoseinä on ohutrapattu ulkopuolelta.
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	Maanvastaiseen <b>harkkoseinään</b> on asennettu bitumikermi kuvan 3 mukaisesti.
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	Maanvastaiseen <b>harkkoseinään</b> on asennettu bitumikermi kuvan 3 mukaisesti, ei kuitenkaan ulkopinnalle.
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	Maanvastaiseen <b>valubetoniseinän</b> ja laatan liitos on tiivistetty kuvan 4 mukaisesti bitumikermillä.
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	Maanvastaiseen <b>valubetoniseinän</b> ja laatan liitos on tiivistetty elastisilla aineilla.
<input type="checkbox"/> kyllä <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> en tiedä	Putkien ja kaapelien läpiviennit on tiivistetty maanvastaisissa seinä- ja alapohjarakenteissa.



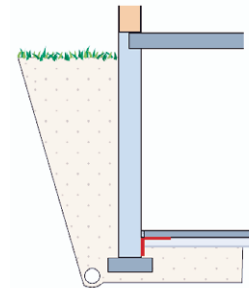
**Kuva 1** Perusmuurin ja laatan liitoksen tiivistäminen bitumikermillä (punaisella)



**Kuva 2** Bitumikermien käyttö tiivistämissä työssä



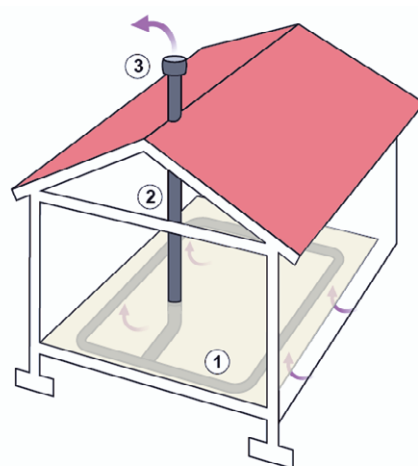
**Kuva 3** Maanvastaisen harkkoseinän tiivistäminen bitumikermillä



**Kuva 4** Maanvastaisen valubetoniseinän ja laatan liitoksen tiivistäminen bitumikermillä

**KÄÄNNÄ**

<b>Radonputkisto</b>	
<input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> En tiedä	Laatan alle on asennettu radonputkisto, kuva 5.
<input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> En tiedä	Putkiston poistokanavan pää on tulpattu tiiviisti sisätiloissa.
<input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> En tiedä	Putkiston poistokanavan pää on avonaisena ulkona.
<input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> En tiedä	Putkistoon on liitetty huippuimuri, kuva 5.
<input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> En tiedä	Huippuimuri on ollut käytössä mittauksen aikana (vastaa vain, jos imuri on asennettu).

**LISÄTIETOJA**


**Kuva 5** Radonputkiston asentaminen laatan alle

1. Radonputkisto
2. Poistokanava
3. Poistokanavan päähän asennettu huippuimuri

**LISÄTIETOJA** jatkuu

**Vastaaajan tiedot**

(halutessasi, mahdollisten lisätietojen kysymiseksi)

Nimi:  
puh.

**Säteilyturvakeskus**

PL 14, 00881 Helsinki p. 09-759 881  
20.2.2009

Onko tämä ensimmäinen radonmittaus asunnossanne?				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
On	1021	95,4	478	97,4
Ei	38	3,6	9	1,8
Ei täytetty	11	1,0	4	0,8
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Onko asunto ollut asuinkäytössä mittauksen aikana?				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
On	1035	96,7	474	96,5
Ei	5	0,5	5	1,0
Ei täytetty	30	2,8	12	2,5
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Oliko 1. purkki sijoitettu asuintiloihin?				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
On	992	92,7	100	94,1
Ei	—	—	—	—
Ei täytetty	78	7,3	29	5,9
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Talotyyppi				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Omakotitalo	1043	97,5	9	1,8
Paritalo	2	0,2	149	30,3
Rivitalo	2	0,2	323	65,8
Kerrostalo	1	0,1	2	0,4
Luhtitalo	8	0,8	1	0,2
Muu	—	—	3	0,6
Ei täytetty	14	1,3	4	0,8
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Asunnon käyttö				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Vakituinen	997	93,2	450	91,7
Vapaa-ajan asunto	—	—	—	—
Ei täytetty	73	6,8	41	8,3
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>



Valmistumisvuosi				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
2006	203	19,0	53	10,8
2007	592	55,3	325	66,2
2008	174	16,3	70	14,3
2009	12	1,1	4	0,81
Ei täytetty	89	8,3	42	8,5
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Onko talo perustettu kalliolle?				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Ei	832	77,8	401	81,7
Kyllä	63	5,9	7	1,4
Kalliota louhittu	88	8,2	28	5,7
Yhdistelmä edellisistä	44	4,1	14	2,9
Ei täytetty	43	4,0	41	8,4
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Saadaanko talousvesi porakaivosta?				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Ei	935	87,9	428	87,2
Kyllä	67	6,3	4	0,8
Ei täytetty	68	6,4	59	12,0
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Kantavien rakenteiden pääasiallinen rakennusmateriaali				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Puu	862	80,1	233	47,5
Tiili	5	0,5	15	3,1
Betoni	74	6,9	106	21,6
Kevytbetoni	57	5,3	17	3,5
En tiedä	7	0,7	60	12,2
Muu	18	1,7	10	2,0
Ei täytetty	47	4,4	50	9,1
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

<b>Ilmanvaihto</b>				
	<b>Omakotitalot</b>		<b>Rivitalot</b>	
	<b>Lkm</b>	<b>%</b>	<b>Lkm</b>	<b>%</b>
Painovoimainen	10	0,9	4	0,8
Koneellinen poisto	59	5,5	27	5,5
Koneellinen tulo ja poisto	976	91,2	439	89,4
Ei täytetty	25	2,3	21	4,3
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

<b>Rakennusvaiheen radontorjunta</b>				
<b>Tiivistämistoimet maanvastaisissa rakenteissa</b> - yhdessä kohteessa voi olla useita toimenpiteitä				
	<b>Omakotitalot</b>		<b>Rivitalot</b>	
	<b>Lkm</b>	<b>%</b>	<b>Lkm</b>	<b>%</b>
Ei	267	25,0	30	6,1
En tiedä	226	21,1	353	71,9
Sokkelin ja lattialaatan liitoksen tiivistäminen	325	29,4	32	6,5
– kumibitumikermillä	325	30,4	45	9,2
– elastisella sauma-aineella	118	11,0	18	3,7
– muulla, millä	91	8,5	4	0,8
Putkien ja kaapelien läpivientien tiivistäminen	166	15,5	18	3,7
Maanvastaisten harkkoseinien tiivistäminen	105	9,8	13	2,7
– kumibitumikermillä	125	11,7	19	3,9
– ohutrappaamalla	109	10,2	7	1,4
Harkkosokkelin sisäpuolen tiivistäminen ohutrappaamalla	77	7,2	11	2,2
Muu toimenpide	49	4,6	3	0,6
Ei täytetty (mitään vaihtoehtoista)	180	16,8	71	14,5
<b>Yhteensä, kohteita</b>	<b>1070</b>		<b>491</b>	

<b>Asennettiinko lattialaatan alle rakennusvaiheessa radonputkisto ?</b>				
	<b>Omakotitalot</b>		<b>Rivitalot</b>	
	<b>Lkm</b>	<b>%</b>	<b>Lkm</b>	<b>%</b>
Ei	430	40,2	96	19,6
Kyllä. Putkistoon ei ole kytketty poistopuhallinta. Putkiston poistokanavan pää on	514	48,0	89	18,1
– tulpattu ilmatiiviisti	102	9,5	17	3,5
– avonaisena ulkona	356	33,3	44	9,0
Kyllä. Putkisto on otettu käyttöön kytkemällä siihen poistopuhallin.	15	1,4	20	4,1
Ei täytetty	111	10,4	286	58,3
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Pientalotyyppi				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Kellariton talo (matalaperustus)				
– kerroksia 1	374	35,0	204	41,6
– kerroksia 1,5	330	30,8	64	13,3
– kerroksia 2	152	14,2	115	23,4
– yhteensä	856		383	
Talossa kellari				
– kerroksia 1	5	0,5	–	–
– kerroksia 1,5	9	0,8	1	0,2
– kerroksia 2	12	1,1	4	0,8
– yhteensä	26		5	
Talossa osakellari				
– kerroksia 1	4	0,4	1	0,2
– kerroksia 1,5	4	9,4	1	0,2
– kerroksia 2	5	0,5	3	0,6
– yhteensä	13		5	
Talo rinteellä				
– kerroksia 1	52	4,9	18	3,7
– kerroksia 1,5	15	1,6	3	0,6
– kerroksia 2	15	1,4	4	0,8
– yhteensä	82		25	
Talo rinteellä, maanvastaisen kerroksen pinta-ala pienempi kuin ylemmän kerroksen				
– kerroksia 1	16	1,5	5	1,0
– kerroksia 1,5	5	0,5	–	–
– kerroksia 2	5	0,5	3	0,6
– yhteensä	26		8	
Ei täytetty	65	6,1	65	13,2
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Maanpintatason alapuolella olevat tilat				
Onko talossa tiloja, jotka ovat kokonaan tai osittain maanpintatason alapuolella?				
– yhdessä kohteessa voi olla useita valintoja				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Ei	847	79,2	390	79,4
Kellarikuoppa (käynti luukun kautta sisätiloista)	12	1,1	4	0,8
Tiloja, joissa ei olekella (esim. talouskellari, varasto)	53	5,0	11	2,2
Tiloja, joissa olekellaan jonkin verran (esim. saunatilat, kodinhoituhuone)	76	7,1	25	5,1
Tiloja, joissa olekellaan paljon (esim. olohuone, keittiö)	12	1,1	1	0,2
Makuuhuone tai makuuhuoneeksi sopiva tila	26	2,4	9	1,8
<b>Yhteensä, kohteita</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Kulkuyhteys alimman kerroksen ja muun asunnon välillä				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Avoim portaikko	269	25,1	120	24,4
Portaat ja ovi	24	2,2	8	1,6
Vain ulkokautta	54	5,1	22	4,5
Ei täytetty	723	67,6	341	69,5
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Alimman kerroksen tai kellarin lattiamateriaali				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Betoni	100	29,2	137	27,9
Maa tai kallio	22	2,1	2	0,4
Muu	35	3,3	9	1,8
Ei täytetty	698	70,0	343	69,9
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Alimman kerroksen maanvastaisten seinien materiaali				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Betoni	104	9,7	101	20,6
Kevytsojarahkko	185	17,3	30	6,1
Muu	20	1,9	6	1,2
Ei täytetty	761	71,1	354	72,1
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Pientalon perustamistapa				
Kellarittoman talon tai kellarittoman talon osan perustus				
	Omakotitalot		Rivitalot	
	Lkm	%	Lkm	%
Perusmuuri ja maanvarainen laatta	729	68,1	177	36,1
– sokkeli betonista	174	16,3	76	15,5
– sokkeli kevytsoraharkoista	425	39,7	50	10,2
Reunajäykistetty laatta	22	2,1	7	1,4
Ryömintätila	223	20,8	53	10,8
– alapohja betonista	106	9,9	52	10,6
– alapohja puusta	94	8,8	1	0,2
Yhdistelmä perustustavoista	9	0,8	3	0,6
Muu	13	1,2	7	1,4
Ei täytetty tai en tiedä	74	6,9	244	49,7
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>

Eri vaihtoehtojen osuudet on laskettu sekä koko aineistolle että kyseisen kohdan täyttäneiden osalta.

**Tiivistämistyöt, matalaperustaiset talot**

Sokkelin ja laatan liitoskohta on tiivistetty kumibitumikermillä, kuvat 1 ja 2.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	339	32	41	23	5	6
En tiedä	153	14	19	294	60	80
Kyllä 815 / 368	323	30	40	51	10	14
Ei täytetty	255	24		123	25	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Valubetonisokkelin ja laatan liitoskohta on tiivistetty elastisella sauma-aineella.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	344	32	53	21	4	6
En tiedä	213	20	33	297	61	85
Kyllä 650 / 348	93	9	14	30	6	9
Ei täytetty	420	39		143	29	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Putkien ja kaapelien läpiviennit on tiivistetty maanvastaisissa alapohjarakenteissa.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	357	33	46	24	5	7
En tiedä	244	23	31	305	62	85
Kyllä 784 / 359	183	17	23	30	6	8
Ei täytetty	286	27		132	27	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

## Tiivistämistyöt, kellari- ja rinnetalot

Maanvastainen harkkoseinä on ohutrapattu sisäpuolelta.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	153	14	53	18	4	9
En tiedä	64	6	22	169	34	88
Kyllä 288 / 193	71	6	25	6	1	3
Ei täytetty	782	73		298	61	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Maanvastainen harkkoseinä on ohutrapattu ulkopuolelta.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	131	12	44	15	3	8
En tiedä	56	5	19	162	33	83
Kyllä 300 / 194	113	11	37	17	3	9
Ei täytetty	770	72		297	61	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Maanvastaiseen harkkoseinään on asennettu bitumikermi kuvan 3 mukaisesti.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	133	12	44	10	2	5
En tiedä	69	6	23	170	35	87
Kyllä 303 / 195	101	9	33	15	3	8
Ei täytetty	767	72		296	60	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Maanvastaiseen valubetoniseinän ja laatan liitos on tiivistetty kuvan 4 mukaisesti bitumikermillä.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	154	14	58	10	2	5
En tiedä	91	9	35	181	37	92
Kyllä 264 / 196	19	2	7	5	1	3
Ei täytetty	806	75		295	60	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Maanvastaiseen valubetoniseinän ja laatan liitos on tiivistetty elastisilla aineilla.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	137	13	53	7	1	4
En tiedä	97	9	38	182	37	95
Kyllä 258 / 192	24	2	9	3	1	1
Ei täytetty	812	76		299	61	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Putkien ja kaapelien läpiviennit on tiivistetty maanvastaisissa seinä- ja alapohjarakenteissa.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	136	13	45	7	1	4
En tiedä	113	11	38	184	37	93
Kyllä 299 / 197	50	5	17	6	1	3
Ei täytetty	771	72		294	60	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

## Radonputkisto

Laatan alle on asennettu radonputkisto, kuva 5						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	331	31	39	59	12	16
En tiedä	45	4	5	206	42	58
Kyllä 847 / 358	471	44	56	93	19	26
Ei täytetty	223	21		133	27	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Putkiston poistokanavan pää on tulpattu tiiviisti sisätiloissa.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	346	32	61	44	9	15
En tiedä	110	10	19	236	48	79
Kyllä 568 / 297	112	10	20	17	3	6
Ei täytetty	502	47		194	40	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Putkiston poistokanavan pää on avonaisena ulkona.						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	183	17	29	30	6	10
En tiedä	68	6	11	220	45	72
Kyllä 622 / 305	371	35	60	55	11	18
Ei täytetty	448	42		186	38	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Putkistoon on liitetty huippumuri, kuva 5						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	524	49	86	85	17	28
En tiedä	53	5	9	199	41	65
Kyllä 609 / 306	32	3	5	22	4	7
Ei täytetty	461	43		185	38	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Huippumuri on ollut käytössä mittauksen aikana (vastaa vain, jos imuri on asennettu).						
	Omakotitalot			Rivi- ja paritalot		
	Lkm	% kaikista	% täytetyt	Lkm	% kaikista	% täytetyt
Ei	242	23	79	44	9	19
En tiedä	42	4	14	160	33	69
Kyllä 307 / 233	23	2	7	29	6	12
Ei täytetty	763	71		258	52	
<b>Yhteensä</b>	<b>1070</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



## 1 Radontorjunnan ohjekortti

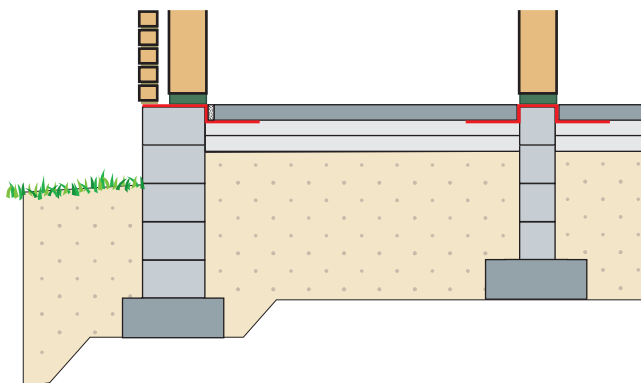
Käytössä oleva ohjeistus on julkaistu RT-ohjekortissa Radonin torjunta (RT-ohjekortti RT 81-10791, LVI 37-10357, Rakennustieto Oy, 2003). Opas korvaa aikaisemman Ympäristöministeriön julkaiseman oppaan vuodelta 1994. Merkittävimmät muutokset koskevat maanvaraisen laatan tiivistämisratkaisua. Opas keskittyy maanvaraisen laatan radontorjuntaan, koska se on vallitseva ja ongelmallisin perustustapa Suomessa.

Oppaan keskeiset ohjeet:

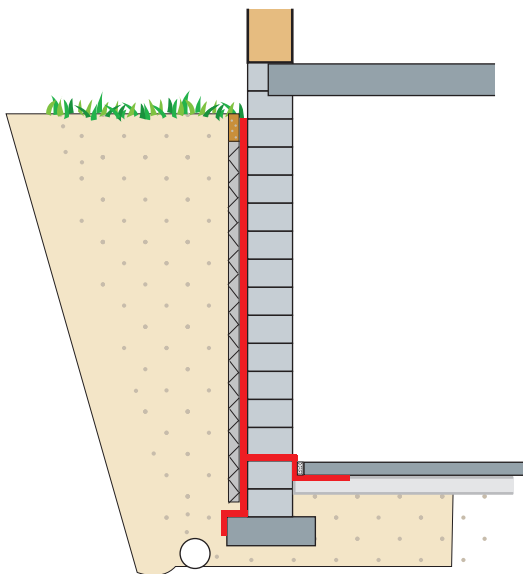
1. Tuulettuva alapohja ja yhtenäinen saumaton reunavahvistettu betoni-laatta ovat radonturvallisimpia perustustapoja.
2. Jos rakennat maanvaraisen laatan, sokkelin ja lattialaatan liitoskohta ja läpiviennit laatasta on tiivistettävä huolella (Kuvat 1–3). Tämän lisäksi tulee laatan alle asentaa radonputkisto (Kuva 4). Mikäli radonpitoisuus valmiissa talossa ylittää enimmäisarvon  $200 \text{ Bq/m}^3$ , putkistoon kytketään imuri, joka alentaa tehokkaasti radonpitoisuutta.

Maanvastaiset seinät ovat rinne- ja kellaritaloissa merkittävä maaperän radonpitoisen ilman vuotoja lisäävä tekijä. Kevytsoraharkoista tehdyn tiivistämisytöt vaativat erityistä huolellisuutta (Kuva 3).

Säteilyturvakeskus on ylläpitänyt nettisivuillaan täydentäviä ohjeita, jotka korostavat ohjeistuksen keskeisiä toimenpiteitä. Täydentävät ohjeet perustuvat torjuntatyöstä saatuun palautteeseen sekä STUKin omiin tutkimuksiin. Täydentävät ohjeet ovat tämän raportin liitteenä 7.



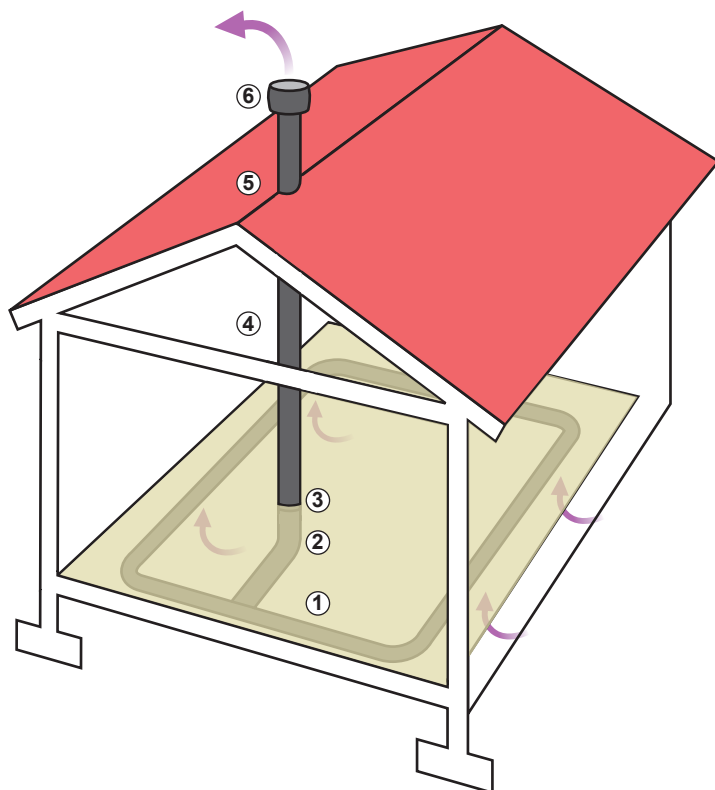
**Kuva 1.** Perusmuurin ja maanvaraisen laatan liitoksen tiivistäminen ohjeen RT 81-10791 mukaisesti bitumikermillä.



**Kuva 2.** Maanvaraisen harkkoseinän tiivistäminen ohjeen RT 81-10791 mukaisesti bitumikermillä.



**Kuva 3.** Bitumikermiä asennetaan sokkelin päälle. Kuva Katepal Oy.


**Kuvan selitykset**

1. **Imukanavisto**, muovista salaojaputkea, etäisyys perusmuurista noin 1,5 m, vähintään 20 cm lämmöneristeen alapuolella. Pari- ja rivitaloissa käytetään haravamallista kanavistoa.
2. **Siirtokanava**, muovista viemäriputkea
3. **Tiivistetty** läpivienti lattiaaatassa
4. **Lämpöeristetty** poistoputki
5. **Läpivienti** vesikatolla
6. **Piippuhattu** vapaasti tuulettuvassa järjestelmässä tai vaihtoehtoisesti huippuimuri koneellisessa radonimurijärjestelmässä.

**Kuva 4.** Radonputkiston asentaminen ohjeen RT 81-10791 mukaisesti.

**www.stuk.fi** valitse Oikopolut ja Radon sekä Radon uudisrakentamisessa

Täydentävät ohjeet ovat RT-ohjekortin RT 81-10791, LVI 37-10357 soveltamiseen liittyviä lisäohjeita.

Ohjeet perustuvat Säteilyturvakeskuksen omiin tutkimuksiin sekä viranomaisilta, erityksiltä ja rakentajilta saatuihin kokemuksiin.

### **1. Poistoputki tulee asentaa avonaisena ulos asti**

Poistoputki tulee asentaa vesikaton yläpuolelle saakka jo rakentamisen yhteydessä. Tällöin vältetään rakenteiden muutostöiltä, joita tarvitaan putkiston jälkiasennuksessa. Putken pää tulee jättää avoimeksi ja varustaa sopivalla sadehatulla. Vapaasti tuulettuvalla radonputkistolla on radonpitoisuutta alentava vaikutus ilman imuriakin. Vaikutus on kuitenkin paljon alhaisempi kuin mitä imurin kanssa saavutetaan.

### **2. Rengas- vai haravamallinen putkisto**

Paritaloissa ja rivitaloissa on syytä käyttää haravamallista putkistoa. Kun laatan alla käytetään nykyisin erittäin karkeita ja ilmaa läpäiseviä täyttöaineita, rengasmallisen putkiston toimivuus voi paritalossakin olla riittävä vain siinä osassa taloa, johon asennetaan poistokanava. Ilmavirrat eivät paritalon toisella puolella ole enää riittäviä.

### **3. Radonimurin toiminta voi olla puutteellista**

Radonimurin mahdollisuudet alentaa radonpitoisuutta ovat rajalliset. Kohteissa, joissa on karkeaa täyttöainesta ja mahdollisesti vielä karkeaa ainesta perusmuurin ala- ja ulkopuolella, radonimuri saattaa olla kyllin tehokas vain erittäin suurilla ilmavirroilla. Ilmavirta, jolla saavutetaan riittävä alenema radonpitoisuudessa, saattaa ylittää mitoitusilmavirran moninkertaisesti. Mitoitusilmavirran ylittyminen saattaa johtaa kylmä- tai rautaongelmiin. Tiivistystyöt tulee tämän vuoksi tehdä huolella eikä jättää torjuntaa yksin radonputkiston varaan.

### **4. Tiivistystöiden tarve**

Maanvaraisen laatan ja sokkelin liitoksen tiivistystyö bitumikermillä sekä läpivientien tiivistäminen on oleellinen osa radonin torjuntaa. Radonimurin toiminta voi vaativissa olosuhteissa olla puutteellista eikä torjuntaa kannata jättää yksin sen varaan. Tiivistystyö voi parantaa myös radonimurin toimintaedellytyksiä. Koko ohjeistuksen lähtökohta on se, että sekä tiivistystyö että radonputkiston asennus toteutetaan.

### **5. Kermin liitoksien tiivistäminen**

Tiivistämättömät kermien liitokset jäävät vuotaviksi. Bitumikerman

liitokset suorilla osilla ja nurkissa limitetään vähintään 50 mm. Hitsattavien tuotteiden saumaliitokset kuumennetaan tiiviiksi. Mikäli radonkerminä käytetään liimattavia (ei hitsattavia) tuotteita, niiden saumat liimataan soveltuvilla tuotteilla (esim. tiivistysliima Katepal K-36 tai kuumabitumi). Sulatettujen nurkkaliitosten saumat varmistetaan tarvittaessa tiivistysliimalla. Käytännöllisiä ohjeita löytyy valmistajien RT-tuotekorteista, esim. Perustusten kosteuden ja radonin eristys, RT L-37529, RT/KH 382-37529. Katepal Oy.

#### **6. Vältä läpivientejä alapohjassa**

Bitumikermi rikkovat läpiviennit heikentävät tiiveyttä ja tuovat vaativia lisätoita. Pyri välttämään sähköputkitusta lattialaatasta. Laatan alapintaan jäävät jatkokset voivat toimia vuotoreitteinä. Jatkontoman putkituksen käyttäminen vähentää vuotojen mahdollisuutta. Läpivientien keskittäminen esim. tekniseen tilaan auttaa tiivistämisessä.

#### **7. Läpivientien tiivistäminen**

Epäsuotuisissa oloissa yksikin tiivistämätön läpivienti voi kasvattaa radonpitoisuuden yli toimenpidearvon. Läpiviennit tulee tiivistää mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ennen kuin ne koteloidaan väliseinien sisään. Tiivistämisessä käytetään tarvittaessa lisävalua sekä soveltuvia pohjanauhoja ja elastisia saumaussmassoja RT-ohjekortin mukaisesti.

#### **8. Tee tiivistystyöt myös teknisessä tilassa**

Tiivistämättömät läpiviennit ja lattiasaumat teknisessä tilassa voivat kasvattaa teknisen tilan radonpitoisuuden jopa tuhansiin Bq/m<sup>3</sup>. Teknisestä tilasta siirtyy useimmissa tapauksissa ilmaa asuintilojen puolella, jolloin myös asuintilojen radonpitoisuus kasvaa.

#### **9. Maanvastaiset seinät ja porrastukset**

Harkkorakenteiset maanvastaiset seinät ovat erittäin merkittäviä vuotoreittejä. Harkkorakenteisen maanvastaisen seinän koko maan alle jäävä ulkopinta tulee tiivistää bitumikermillä kermi valmistajan ohjeiden mukaisesti. Myös porrastusten osalta vastaava tiivistystyö on välttämätöntä. Porrastuksessa pystyseinän ja laatan liitos tiivistetään kermillä, soveltaen RT-kortin ja valmistajien tuotekorttien ohjeita.

#### **10. Tuulettuva alapohja ja reunavahvistettu laatta ovat turvallisia ratkaisuja**

Tuulettuva alapohja ja reunavahvistettu laatta ovat radontorjunnan kannalta teknisesti helpompia ja varmempia perustustapoja kuin normaali maanvaraisen laatan perustus. Molemmilla perustustavoilla

toteutetuissa taloissa esiintyy enimmäisarvon ylityksiä huomattavasti vähemmän kuin maanvaraisissa ratkaisuissa. Tuulettuvassa alapohjassa on huolehdittava alapohjan ja sen liittymien ja läpivientien huolellisesta tiivistämisestä ja ryömintätilan riittävästä tuuletumisesta. Reunavahvistetussa laatassa ei ole vuotavaa rakoa laatan ja sokkelin välillä, läpivientien tiivistäminen on kuitenkin tärkeää.

**Kaupallisia tuotekortteja**

Katepal Oy: Perustusten kosteuden ja radonin eristys (pdf), [www.katepal.fi](http://www.katepal.fi)

Icopal Oy: Rakennuksen alapohjan radon- ja kosteussuojaus (pdf), [www.icopal.fi](http://www.icopal.fi)

Uponor Oy: Radonjärjestelmän asennusohjeet (pdf), [www.uponor.fi](http://www.uponor.fi)

# B3

## SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA YMPÄRISTÖMINISTERIÖ, Asunto- ja rakennusosasto

### Ympäristöministeriön asetus Pohjarakenteista

Annettu Helsingissä 25 päivänä syyskuuta 2003

Ympäristöministeriön päätöksen mukaisesti säädetään 5 päivänä helmikuuta 1999 annetun maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 13 §:n nojalla rakentamisessa sovellettavaksi seuraavat määräykset ja ohjeet pohjarakenteista.

Näiden ohjeiden lisäksi on voimassa ympäristöministeriön 9 päivänä toukokuuta 1996 antama päätös geoteknisessä suunnittelussa käytettävästä vaihtoehtoisesta menetelmästä, Eurocode 7 osa 1 yhdessä kansallisen soveltamisasiakirjan kanssa.

Määräykset ja ohjeet on ilmoitettu teknisiä standardeja ja määräyksiä ja tietoyhteiskunnan palveluja koskevia määräyksiä koskevien tietojen toimittamisessa noudatettavasta menettelystä annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 98/34/EY, sellaisena kuin se on muutettuna direktiivillä 98/48/EY, mukaisesti.

Tämä asetus tulee voimaan 1 päivänä maaliskuuta 2004 ja sillä korvataan sisäasiainministeriön 20 päivänä marraskuuta 1975 antamat määräykset pohjarakennuksesta (Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa B3). Ennen asetuksen voimaantuloa vireille tulleet lupahakemukseen voidaan soveltaa aikaisempia määräyksiä.

Helsingissä 25 päivänä syyskuuta 2003

Ympäristöministeri *Jan-Erik Enestam*

Yli-insinööri *Anja Nylund*

**Suomen Rakentamismääräyskokoelma**  
**Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto**  
**B3 Pohjarakenteet**  
**Määräykset ja ohjeet 2004**

Sisällys

MÄÄRITELMIÄ

- |      |  |
|------|--|
| 1    | YLEISTÄ  |
| 1.1  | Soveltamisala                                    |
| 1.2  | Vastavuoroisuuden tunnistaminen                  |
| 2    | RAKENNUSPOHJAN JA LÄHIYMPÄRISTÖN TUTKIMUKSET     |
| 2.1  | Pohjatutkimus                                    |
| 2.2  | Pohjavesi  |
| 2.3  | Pohjatutkimusasiakirjat                          |
| 2.4  | Maakosteus                                       |
| 2.5  | Routa  |
| 2.6  | Tulva- ja sortumariski                           |
| 2.7  | Pilaantunut maaperä                              |
| 2.8  | Radon  |
| 2.9  | Perustusten kuntotutkimukset                     |
| 2.10 | Rakenteiden ja ympäristön katselmukset           |
| 2.11 | Liikennetärinä                                   |
| 3    | POHJA- JA MAARAKENTEISSA KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT |
| 3.1  | Maamateriaalit                                   |
| 3.2  | Murskatut kiviainesmateriaalit                   |
| 3.3  | Kierrätysmateriaalit                             |
| 3.4  | Betonit  |
| 3.5  | Juotoslaastit                                    |
| 3.6  | Teräkset   |
| 3.7  | Puiset pohjarakenteet                            |
| 3.8  | Geosynteettiset materiaalit                      |
| 3.9  | Routasuojausmateriaalit                          |
| 3.10 | Injektointi- ja stabilointiaineet                |

- |       |   |
|-------|---|
| 4     | POHJARAKENTEIDEN SUUNNITTELU                        |
| 4.1   | Yleiset vaatimukset                                 |
| 4.2   | Rakennuspohja                                       |
| 4.2.1 | Maapohja  |
| 4.2.2 | Kalliopohja   |
| 4.3   | Perustusten ja muiden pohjarakenteiden kuormitukset |
| 4.4   | Perustukset   |
| 4.4.1 | Anturaperustukset                                   |
| 4.4.2 | Laattaperustukset                                   |
| 4.4.3 | Paaluperustukset                                    |
| 4.5   | Vanhon perustusten vahvistaminen                    |
| 4.6   | Alapohja- ja kellarirakenteet                       |
| 4.7   | Piha-alueiden rakenteet                             |
| 4.8   | Tukirakenteet ja maanpaine                          |
| 4.9   | Rakennuskaivannot ja työnaikainen kuivanapito       |
| 4.10  | Ympäristönsuojaus                                   |
| 4.11  | Suunnitelmat  |
| 5     | POHJARAKENNUSTYÖ                                    |
| 5.1   | Yleiset vaatimukset                                 |
| 5.2   | Pohja- ja maarakenteet                              |
| 5.2.1 | Pohjarakenteet                                      |
| 5.2.2 | Maarakenteet  |
| 5.2.3 | Rakennuskaivannot                                   |
| 5.2.4 | Paalut ja paalutus                                  |
| 5.3   | Rakenteiden ja ympäristön tilan tarkkailu           |
| 5.4   | Tarkastusasiakirja                                  |

Liite 1 Opastavaa aineistoa

**MERKKIEN SELITYS**

**Määräykset**, jotka on painettu leveälle palstalle tällä isolla kirjasinkoolla, ovat velvoittavia.

**Ohjeet**, jotka ovat kapealla palstalla pienellä kirjasinkoolla, sisältävät esimerkkejä hyväksyttävistä ratkaisuista.

**Selostukset**, jotka ovat kapealla palstalla kursivoituna, antavat lisätietoja sekä sisältävät viittauksia säädöksiin, määräyksiin ja ohjeisiin.



## 1. YLEISTÄ

### 1.1 Soveltamisala

#### 1.1.1

Nämä määräykset ja ohjeet koskevat luvanvaraista sekä soveltuvien osin viranomaishyväksyntää muutoin edellyttävää rakennustyötä ja rakentamista valmistettavaa toimenpidettä.

Näitä määräyksiä noudatetaan rakennusten, tilojen ja rakenteiden pohjarakenteiden sekä niihin liittyvien maarakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa sekä rakentamisen valvonnassa.

#### 1.1.2

Kantavien pohjarakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa noudatetaan samoja periaatteita kuin muidenkin kantavien rakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa ottaen kuitenkin huomioon maan ja rakenteen yhteistoiminta.

Pohjarakenteet on suunniteltava ja rakennettava siten, että varmistetaan käyttöikää vastaava pitkäaikaiskestävyys ja terveellisyys sekä estetään kosteusvauriot.

#### Ohje

Pohjarakenteiden rakennesuunnittelussa ja rakentamisessa noudatetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman B-osissa esitettyjä kyseessä olevia materiaaliikohtaisia kantavien rakenteiden määräyksiä ja ohjeita.

#### Selostus

*Pohjarakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa on maankäyttö- ja rakennuslain lisäksi otettava huomioon muu lainsäädäntö. Keskeisempiä näistä ovat esimerkiksi maa-ainesten ottamista, väestönsuojia, ympäristönsuojelua ja työturvallisuutta koskevat säännökset.*

*Kunnan rakennusjärjestyksissä voi olla määräyksiä mm. alimmista rakentamiskorkeuksista sekä tulva-, sortuma- tai vyörymävaaraa sisältävistä alueista, tärkeistä pohjavesialueista sekä pilaantuneista maaperistä, radonriskialueista ja liikennetärinälle alttiista alueista.*

*Seuraavaan on koottu maankäyttö- ja rakennuslain ja -asetuksen tärkeimpiä pohjarakentamiseen liittyviä kohtia:*

- rakentamisen ohjauksen tavoitteet [MRL 12 §]
- Suomen rakentamismääräyskokoelma [MRL 13 §]
- rakennusjärjestys [MRL 14 §]
- rakennussuunnittelu (pohjarakenteisiin liittyvät selvitykset) [MRA 49 § 2. momentti]
- rakennuspaikkaa koskevat vaatimukset (tulvan, sortuman ja vyörymän vaara) [MRL 116 § 2. momentti]
- rakennuksen olennaiset tekniset vaatimukset [MRA 50 §]
- rakentamiselle asetettavat vaatimukset (korjaus- ja muutostyö) [MRL 117 § 4. momentti]
- rakennustyön haittojen välttäminen [MRA 83 § 1. momentti]
- ekologiset näkökohdat rakentamisessa [MRA 55 §]
- huolehtimisvelvollisuus rakentamisessa [MRL 119 §]
- aloituskokous [MRL 121 §]
- viranomaistarkastukset [MRL 150 §]
- asiantuntijatarkastus [MRL 151 §]
- rakennustyön tarkastusasiakirja [MRA 77 §]

## 2.8 Radon

### 2.8.1

Rakennuspaikan radonriskit on otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa.

#### Ohje

Suunnittelun ohjearvona oleva radonpitoisuuden raja  $200 \text{ Bq/m}^3$  ylittyy ilman vastatoimia yleisesti suurimmassa osassa maata. Radontekninen suunnittelu voidaan jättää tekemättä vain, jos paikkakuntakohtaiset radontutkimukset selkeästi osoittavat, että radonpitoisuus asunnoissa alittaa enimmäisarvon säännönmukaisesti. Mikäli radonia ei huomioida suunnittelussa, kirjalliset perustelut liitetään rakennuskohteen suunnitelma-asiakirjoihin.

Rakennuspohjan radonriskiin vaikuttavat aina sekä alkuperäisraa että paikalle tuotavat täyttömaat ja salaojasorat. Paksu täyttösorakerros voi jo yksinään tuottaa sisätiloihin enimmäisarvon ylittäviä radonpitoisuuksia.

Rakennuksen radonpitoisuuteen voidaan vaikuttaa merkittävästi alapohjarakenteiden ja perustustavan valinnalla.

#### Selostus

*Säteilylain ja -asetuksen ja sen muutoksen 1143/1998 mukaan radonpitoisuus ei saa säännöllisessä työssä ylittää arvoa  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan suunnittelun ohjearvoksi esitetään, että radonpitoisuuden vuosikeskiarvo saa olla enintään  $200 \text{ Bq/m}^3$ .*

*Säteilyturvakeskus on antanut säteilyturvallisuuksiin koskevan ohjeen ST 12.1 Säteilyturvallisuus luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa, 2000 ja talonrakennuksessa käytettävien materiaalien radioaktiivisuutta koskevan ohjeen ST 12.2 Rakennusmateriaalien, polttoturpeen ja turvetuhkan radioaktiivisuus, 1993.*

## 4.6 Alapohja- ja kellarirakenteet

### 4.6.1

Alapohja- ja kellarirakenteet on suunniteltava ja rakennettava niin, että rakenteiden painumat ja muut muodonmuutokset ovat niin pieniä ja rakenteet niin tiiviitä, ettei rakenteiden ja rakennuksen suunniteltu toiminta vaarannu rakennuksen ja rakenteiden käyttöä aikana. Routimisen vaikutukset rakenteisiin on estettävä. Kantavaa alapohjaa on käytettävä silloin, kun maanvaraisen alapohjan painumat tulisivat liian suuriksi.

#### Ohje

Maanvaraista alapohjaa voidaan yleensä käyttää, kun rakennus on perustettu moreenin, karkearakeisen maan tai kallion varaan ja kun lattian alle tuleva täyttö rakennetaan kerroksittain suunniteltuun tiiviyteen niin, että alapohja painuu enintään 5 mm enemmän kuin rakennus.

Maanvarainen alapohja voidaan suunnitella ja rakentaa myös paa-luilla perustettujen rakennusten kellareissa, jos painumaero muihin rakenteisiin nähden on riittävän pieni. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon putkijohtojen ja laitteiden sekä painumille arkojen rakenteiden asettamat vaatimukset.

Jos kantavan alapohjan päälle tulee asumis- tai työtiloja, alapohjan alapuolelle rakennetaan riittävästi tuulettuva ryömintätila. Ryö-

mintätilaa ei tarvitse tehdä, jos maata vasten tehdyn alapohjan alapuolisen täytön painumattomuus ja kuivanapito on varmistettu.

Kellarirakenteiden maanvastaaiset pystyrakenteet mitoitetaan yleensä lepopaineelle.

#### 4.6.2

Alapohjien alapuolelle ja kellarirakenteiden ulkopuolelle rakennettavien putkijohtojen, kaapeleiden ja laitteiden on oltava huollettavissa ja vaihdettavissa kantavia rakenteita muuttamatta.

#### 4.6.3

Rakennuspohja on kuivatettava niin, että veden kapillaarivirtaus katkaistaan ja pohjavedenpinta pidetään riittävällä etäisyydellä lattiasta tai ryömintätilan maanpinnasta sekä maahan imeytyvät pintavedet johdetaan pois perustusten vierestä ja rakennuksen alta. Alapohjien alla on oltava kapillaarisen veden nousun katkaiseva rakenne, jollei alapohjaa ole vedenpaine-eristetty. Johtokaivantojen ja –kanaalien kuivanapito on järjestettävä siten, ettei niihin mahdollisesti kulkeutuva vesi lisää rakenteiden haitallista kosteusrasitusta.

Maanvastaaiset kellarirakenteet on erotettava maasta kapillaarisen veden siirtymisen katkaisevalla rakenteella, jollei rakennetta ole vedenpaine-eristetty tai muuten voida osoittaa, että kapillaarisesta vedensiirtymisestä ei ole haittaa rakenteille tai rakennuksen toiminnalle.

Maanvastaisten kellarirakenteiden kosteustekninen toiminta on suunniteltava ja toteutettava niin, että rakenteet pääsevät riittävästi kuivumaan.

Kuivanapitorakenteiden toiminta, tarkastaminen ja huolto on kuvattava rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeessa.

#### Ohje

Vedenpaine-eristettyä tai vesitiivistä rakennetta ei yleensä tarvitse salaojittaa. Vedenpaine-eristettyjen rakenteiden mahdollisiin suoto- ja tihkuvesiin varaudutaan tarvittaessa sisäpuolisella kuivanapitojärjestelmällä.

Kellarirakenteiden viereisten maahan tai kallioon rajoittuvien tilojen kuivatukseen kiinnitetään riittävästi huomiota. Tilojen kosteusrasitusta voidaan pienentää tehokkaalla tuuletuksella ja kuivatuksella.

Maakerrokset kuten esimerkiksi salaojakerros ja pohjamaa erotetaan tarvittaessa toisistaan tai maapohjasta kuitukankaalla tai suodatinkerroksella.

Alapohjan ja kellarirakenteiden maanvastaisen seinien tiiveydellä estetään maaperän radonpitoisen ilman pääsy sisätiloihin. Tuulettuvalla alapohjalla varustetuissa rakennuksissa radonpitoisuudet ovat keskimäärin alimpia. Tiivis yhtenäinen laattarakaisu on myös radonturvallinen. Maanvaraisen laatan ja perusmuurin sauman tiivistystoimet ovat välttämättömiä, kun perusmuuri ja laatta rakennetaan erikseen. Maanvaraisen laatan alle asennettavalla radonputkistolla voidaan useimmissa tapauksissa varmistaa sisäilman radonpitoisuuden hallinta alapohjarakenteen ilmavuotokohtien ollessa vähäisiä. Läpivientien tiivistäminen on erittäin tärkeää kaikissa rakenneratkaisuissa. Huokoisesta materiaalista tehdyt seinärakenteet tiivistetään. Tiivis, halkeilematon betonirakenne estää radonin pääsyn rakenteen läpi.

#### Selostus

*Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C2 on annettu määräyksiä ja ohjeita kosteushaittojen välttämisestä.*

*Lämmöneristysmääräykset ja -ohjeet on annettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa C3 ja C4.*

*Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1 on annettu määräyksiä ja ohjeita kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoista.*

## 4.11 Suunnitelmat

### *Ohje*

Pohjarakennesuunnitelma on sitä yksityiskohtaisempi, mitä vaativampi kohde on pohjasuhteiltaan, rakenteiltaan ja työmenetelmiltään. Pohjarakennesuunnitelma käsittää erittäin vaativien (AA) ja vaativien kohteiden (A) osalta perustukset, muut pysyvät pohjarakenteet, maarakenteet, routasuojauksen, radonteknisen ratkaisun, kuivanapidon ja kaivannot sekä rakennuksen liittymisen putkijohdoin ja pihaan sekä putkijohdosten ja pihan rakentamisen.

Tavanomaisten (B) kohteiden osalta riittää yleensä perustusten, routasuojauksen, radonteknisen ratkaisun ja kuivanapidon suunnittelu.

Rakennusvaiheessa pohjarakennesuunnittelija ja rakennesuunnittelija laativat toteutumapiirustukset.

Rakennusluvan mukaisen hankkeen valmistuttua rakennushankkeeseen ryhtynyt luovuttaa rakennuksen omistajalle kiinteistön käytön, huollon ja tulevien korjaustöiden osalta tarpeelliset pohjatutkimus- ja pohjarakennesuunnitelma-asiakirjat.

### *Selostus*

*On tarkoituksenmukaista, että omistaja säilyttää rakennuksen käytön, huollon ja korjausten kannalta tarpeelliset asiakirjat rakennuksen koko käyttöajan ajan.*

*Tarkastusasiakirjasta on määräykset ja ohjeet Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa A1.*

*Määräykset ja ohjeet rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeesta on annettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa A4.*

## Radonpitoisuuden laskenta

Asunnon radonpitoisuus voidaan laskea seuraavien yhtälöiden avulla:

$$A = \frac{S}{V N} \quad (1)$$

$$A = \frac{Q C}{V N} \quad (2)$$

A	sisäilman radonpitoisuus, Bq/m <sup>3</sup>
S	radonlähteen lähdevoimakkuus, Bq/h
Q	maaperän radonpitoisen ilman virtaus sisätiloihin, m <sup>3</sup> /h
C	maaperän huokosilman radonpitoisuus, Bq/m <sup>3</sup>
V	asunnon tilavuus, m <sup>3</sup>
N	asunnon ilmanvaihtuvuus, 1/h

## Esimerkki

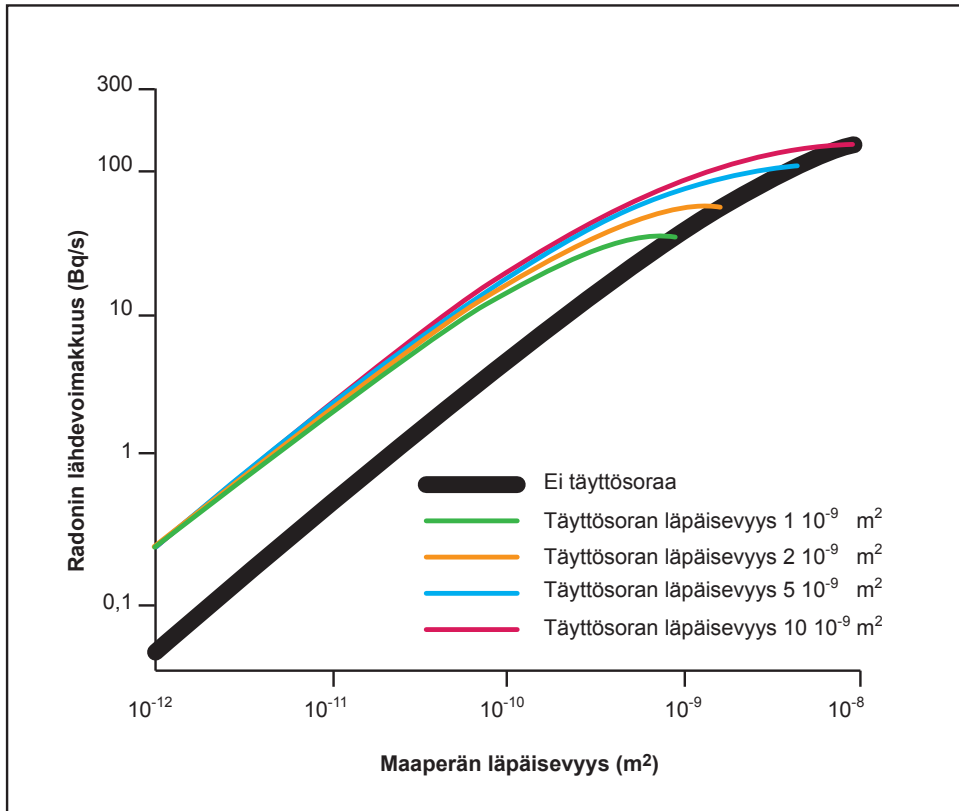
Maaperän huokosilman radonpitoisuus (C) on 50 000 Bq/m<sup>3</sup>, huokosilmaa virtaa asuntoon (Q) 1 m<sup>3</sup>/h, asunnon tilavuus (V) on 250 m<sup>3</sup> (pinta-ala 100 m<sup>2</sup> ja asunnon korkeus 2,5 m) ja ilmavaihtuvuus 0,5 1/h (ilma vaihtuu kerran kahdessa tunnissa). Sijoittamalla nämä yhtälöön (2), saadaan sisäilman radonpitoisuudeksi (A) 400 Bq/m<sup>3</sup>.

## Radonpitoisuuden mallintaminen

Kuva 1 esittää mallilaskujen antamaa radonpitoisen ilman virtausta maaperästä sisätiloihin. Kuvan perusteella maaperän ilmanläpäisevyys vaikuttaa ratkaisevasti vuotoilman virtauksen määrään. Kuvassa virtaus on annettu radonvirtauksena (Bq/s). Esimerkiksi 10 Bq/s vastaa kuvan esimerkissä radonpitoisen ilman virtausta, joka on noin 0,3 l/s (1 m<sup>3</sup>/h). Kun maaperän läpäisevyys kasvaa, asuntoon virtaavan radonpitoisen ilman radonpitoisuus alkaa laimentua maape-

rään tulevan ulkoilman johdosta. Tämän vuoksi lähdevoimakkuus ei enää kasva tietyn rajan yläpuolelle.

Laatan alle laitettava 15 cm paksu alkuperäismaata läpäisevämpi täyttösorakerros kasvattaa vuotovirtausta tekijällä 3–5. Tämä johtuu läpäisevän aineksen virtausta kasvattavasta vaikutuksesta. Täyttösoran oma radontuotto ei ole merkitsevää, jos se on samaa suuruusluokkaa kuin alkuperäismaassa.



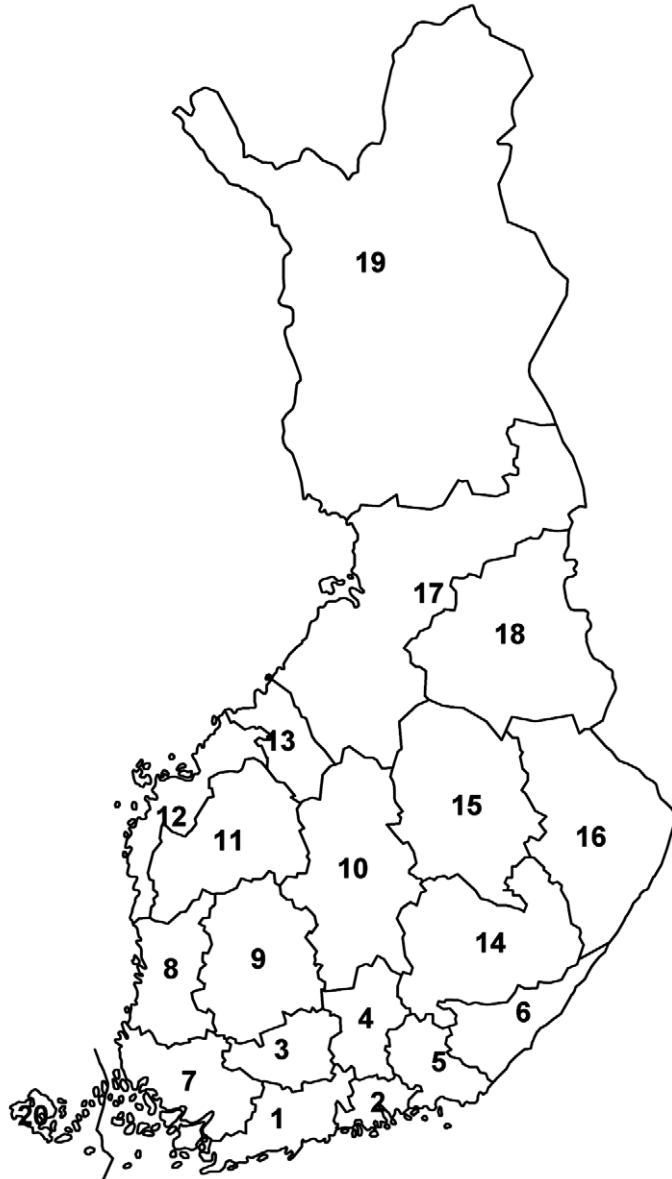
**Kuva 1.** Radonin virtausnopeus kellarilliseen asuntoon. Perusmuurin ja laatan välinen rako on 3 mm. Radonpitoisuus syväällä maaperän huokosilmassa on 37 000 Bq/m³. Täyttösoran paksuus laatan alla 15 cm. Paine-ero ulkoilmaan nähden kellarissa on 5 Pa. (Revzan ja Fisk, 1992)

Kuvassa 1 X-akselin vasemmalla reunalla olevan maaperän ilmanläpäisevyys  $10^{-12} \text{ m}^2$  edustaa maa-ainesta, jossa on jo runsaasti hienoa maa-ainesta, esim. sora-ainetta. Suurinta läpäisevyyttä  $10^{-8} \text{ m}^2$  taas edustaa taas jo melko karkea sora. Taulukko 1 antaa esimerkkejä maalajien ilmanläpäisevyydestä ja niiden raekoosta (Viljanen et al, 1987, RIL 2004). Lajittumattomissa maalajeissa (moreenit) on sekä hienoja että karkeita maalajeja. Soramoreenissa raekokojakauma on painottunut enemmän suuriin raekokoihin kuin hienompiin. Kuvassa 1 käytetyt täyttösora-ainekset, joiden ilmanläpäisevyys on  $10^{-9} \text{ m}^2 - 10^{-8} \text{ m}^2$ , ovat seulottua soraa, jonka raekoko on useista millimetreistä kymmeniin millimetreihin. Siten ne edustavat tyypillistä Suomessa käytettävää täyttösora-ainesta. Murskattu sepeli on vieläkin läpäisevämpää.

**Taulukko 1.** Maalajien ilmanläpäisevyys ja rakeiden läpimitta.

Maalaji tai -lajite	Ilmanläpäisevyys $\text{m}^2$ Suuruusluokka	Rakeiden läpimitta mm
Savi	$10^{-15}$	< 0,002
Siltti	$10^{-14}$	0,002 - 0,06
Hiekkamoreeni	$10^{-13}$	lajittumaton
Soramoreeni	$10^{-12}$	lajittumaton
Hiekka		0.06 - 2,0
hienohiekka	$10^{-11}$	0,06 - 0,2
keskihiekka	$10^{-10}$	0,2 - 0,6
karkeahiekka	$10^{-9}$	0,6 - 2,0
Sora		2.0 - 60
hienosora	$10^{-9}$	2 - 6
keskisora	$10^{-8}$	6 - 20
karkeasora	$10^{-7}$	20 - 60
Kivet		60 - 600

1	Uusimaa
2	Itä-Uusimaa
3	Kanta-Häme
4	Päijät-Häme
5	Kymenlaakso
6	Etelä-Karjala
7	Varsinais-Suomi
8	Satakunta
9	Pirkanmaa
10	Keski-Suomi
11	Etelä-Pohjanmaa
12	Pohjanmaa
13	Keski-Pohjanmaa
14	Etelä-Savo
15	Pohjois-Savo
16	Pohjois-Karjala
17	Pohjois-Pohjanmaa
18	Kainuu
19	Lappi
20	Ahvenanmaa







---

## STUK-A -sarjan julkaisuja

**STUK-A244** Arvela H, Mäkeläinen I, Holmgren O, Reisbacka H. Radon uudisrakentamisessa – Otantatutkimus 2009. Helsinki 2010.

**STUK-A243** Toivonen T. Microwave dosimetry in biological exposure studies and in practical safety evaluations. Helsinki 2010.

**STUK-A242** Mäkeläinen I, Kinnunen T, Reisbacka H, Valmari T, Arvela H. Radon suomalaisissa asunnoissa – Otantatutkimus 2006. Helsinki 2009.

**STUK-A241** Saxén R, Outola I. Vesistöjen ja juomaveden <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr ja <sup>3</sup>H sekä pitoisuuksien arviointi valmiustilanteessa. Helsinki 2009.

**STUK-A240** Kostianen E, Ylipietä J. Radioaktiivinen cesium Suomen ruokasienissä. Helsinki 2010.

**STUK-A239** Toroi P. Patient exposure monitoring and radiation qualities in two-dimensional digital x-ray imaging. Helsinki 2009.

**STUK-A238** Ilus E. Environmental effects of thermal and radioactive discharges from nuclear power plants in the boreal brackish-water conditions of the northern Baltic Sea. Doctoral thesis. Helsinki 2009.

**STUK-A237** Arvela H, Reisbacka H. Radonsanering av bostäder. Helsinki 2009.

**STUK-A236** Saxén R, Rask M, Ruuhijärvi J, Vuorinen P, Rantavaara A, Koskelainen U. <sup>137</sup>Cs in small forest lakes of Finland after the Chernobyl accident. Helsinki 2009.

**STUK-A235** Mustonen R, Sjöblom K-L, Bly R, Havukainen R, Ikäheimonen TK, Kosunen A, Markkanen M, Paile W. Säteilysuojelun perussuositukset 2007. Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103. Helsinki 2009.

**STUK-A234** Belyakov O (Ed.). Non-targeted effects of ionising radiation. Proceedings of the RISC-RAD specialised training course “Non-targeted effects of ionising radiation”. STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finland 14–16 February 2005. Helsinki 2008.

**STUK-A233** Arvela H, Valmari T, Reisbacka H, Niemelä H, Oinas T, Mäkeläinen I. Radontalkoot – Tilannekatsaus 2008. Helsinki 2008.

---

**STUK-A-raportit STUKin verkkosivuilla:**

*[www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/fi\\_FI/tutkimusjulkaisut](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/tutkimusjulkaisut)*





Laippatie 4, 00880 Helsinki  
Puh. (09) 759 881, fax (09) 759 88 500  
[www.stuk.fi](http://www.stuk.fi)

ISBN 978-952-478-531-0

ISSN 0781-1705

Editat Prima Oy, Helsinki 2010